

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**E. T. S DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y MORFOLOGÍA DEL TERRENO



**TRATAMIENTO DE SUELOS MARGINALES O INADECUADOS**  
**CON ADITIVOS CEMENTANTES PARA**  
**TERRAPLENES VIARIOS**

**TESIS DOCTORAL**

**RAFAEL PÉREZ ARENAS**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

**DIRECTOR DE LA TESIS:**  
Carlos Oteo Mazo  
Dr. Ing. De Caminos, Canales y Puertos

MADRID, SEPTIEMBRE DE 2006

Tribunal nombrado por el Magnífico y Excelentísimo Señor Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día ..... de ..... de 2007.

Presidente D.....

Vocal D.....

Vocal D.....

Vocal D.....

Secretario D.....

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día ..... de ..... de 2007 en la E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, los miembros del tribunal acuerdan otorgar la calificación de:.....

EL PRESIDENTE

VOCAL

VOCAL

VOCAL

EL SECRETARIO

***A mi familia, motor y  
combustible de mi vida***

**“Cuando me dicen que  
soy demasiado viejo para  
hacer una cosa, procuro  
hacerla de inmediato”**

**Pablo Ruiz Picasso**



## AGRADECIMIENTOS

Sirvan estas primeras líneas para expresar mi más sincero agradecimiento al Director de mi Tesis, Profesor D. Carlos Oteo Mazo, que no ha regateado ni tiempo ni esfuerzo en prestarme una ayuda constante, así como en facilitarme sus experiencias y líneas de investigación, que han servido de base para este estudio. Esta continua comunicación con mi Director de Tesis, me ha permitido enriquecerme y aprender tanto desde un punto de vista técnico como docente, sin menoscabar sus cualidades humanas.

Los resultados de esta tesis y sus conclusiones se han obtenido a partir de investigaciones prácticas y ensayos en un número importante de obras en realización o proyectos para la realización de nuevas obras. Por tanto, también debe agradecerse la colaboración prestada a los Directores de Obra, Directores de Proyecto, Jefes de Obra y Jefes de Producción de Movimiento de Tierras, y Autores de Proyecto de los distintos casos cuyos resultados se han incluido en esta recopilación.

En concreto, debemos agradecer a **D. Antonio Domingo Ayuso**, de la C.A.M., **D. Javier Díez**, Director Técnico de TRADOS, y a **D. Ignacio Olías**, Gerente de la UTE Constructora, su colaboración en los ensayos de laboratorio y pruebas de control en las obras del Tramo II de la M-45.

Debemos agradecer igualmente a **D. Antonio Bocanegra**, Director de GICSA, y de las obras del tramo Osorno-Carrión de los Condes, su colaboración para la incorporación de los ensayos de tratamiento realizados en la obra de referencia.

Igualmente, se ha contado con la colaboración de **D. Jesús Trabada**, de MINTRA, Director de las Obras del tramo ferroviario de Pinto a San Martín de la Vega, así como a **D. Fernando Evangelio**, Jefe de Obra de la empresa adjudicataria.

Se agradece también a **D. Juan Antonio Ortín**, de ACCESOS DE MADRID, Director de las Obras de la Radial 3, y a **D. Rafael Bernáldez**, Jefe de Obra, su colaboración en los procedimientos, ensayos y controles utilizados en las obras de la Radial 3.

Finalmente, debemos expresar nuestro más especial agradecimiento a la empresa EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A. (E.P.S.A.), representada por **D. Fco. Javier Castanedo Navarro**, la disposición para la utilización de su laboratorio y sus equipos específicos para el análisis del comportamiento de suelos tratados en la elaboración de probetas y ensayos posteriores de los tratamientos realizados.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>i</b>
<b>INDICE GENERAL.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ALCANCE DEL ESTUDIO .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ESTRUCTURAS DE TERRAPLENES CON MATERIAL ARCILLOSO</b>	
<b>MARGINAL.....</b>	<b>13</b>
<b>4. TRATAMIENTO CON CAL.....</b>	<b>19</b>
<b>5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL TRATAMIENTO DE SUELO CON CAL ....</b>	<b>25</b>
5.1 Variaciones en la estructura mineralógica .....	25
5.2 Variaciones en el comportamiento del material tratado.....	25
5.3 Determinación del porcentaje de tratamiento .....	29
5.3.1 Generalidades .....	29
5.3.2 Determinación de la composición de la muestra para su ensayo en laboratorio .....	30
5.4 Maduración .....	32
5.5 Humedad de la mezcla .....	32
5.6 Método de disgregación y mezcla .....	33
5.7 Estabilidad del suelo tratado.....	38
5.7.1 Condicionantes climáticos. Efecto de la helada .....	38
5.7.2 Condicionantes climáticos. Efecto de la desecación.....	41
5.7.3 Efecto de los sulfatos .....	42
<b>6. EXPERIENCIAS ANTERIORES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>
6.1 Variaciones de la estructura mineralógica .....	49
6.2 Determinación del porcentaje de cal para el tratamiento.....	55
6.2.1 Método de Eades y Grim.....	55
6.2.2 Método de California .....	56
6.2.3 Procedimiento del estado de Illinois .....	57
6.2.4 Procedimiento del estado de Oklahoma.....	61

6.2.5	Procedimiento de Dakota del Sur .....	61
6.2.6	Procedimiento del estado de Texas .....	62
6.2.7	Procedimiento de Thompson.....	64
6.2.8	Procedimiento del estado de Virginia .....	66
6.2.9	Recomendaciones francesas SETRA-LCPC, Agosto 1972 (Recommandation pour le traitement en place des sols fins à la chaux).....	67
6.2.10	Recomendaciones francesas SETRA-LCPC, Versión 1997 (Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques).....	69
6.2.11	Procedimiento propuesto en el Reino Unido .....	69
6.3	Efecto de la maduración .....	71
6.4	Efecto de la humedad de la mezcla.....	76
6.5	Efecto de la trituración y el mezclado .....	77
6.6	Estabilidad del suelo tratado.....	78
6.6.1	Condicionantes climáticos. Efecto de la helada .....	78
6.6.2	Condicionantes climáticos. Efecto de la desecación.....	79
6.6.3	Efecto de los sulfatos .....	79
<b>7.</b>	<b>APORTACIONES Y TRATAMIENTOS REALIZADOS .....</b>	<b>87</b>
7.1	Variaciones en la estructura mineralógica .....	87
7.1.1	Tratamiento con cal hidratada de las arcillas arenosas del Terciario de Carrión de los Condes.....	92
7.1.2	Tratamiento con cal hidratada y cemento de las arenas arcillosas del Terciario de Carrión de los Condes .....	97
7.1.3	Tratamiento con ceniza y cemento del eluvial de pizarras arcillosas de Cedillo.....	101
7.2	Determinación del porcentaje de cal para el tratamiento.....	104
7.3	Efecto de la maduración .....	105
7.4	Efecto de la humedad de la muestra .....	107
7.5	Efecto de la trituración y el mezclado .....	110
7.6	Estabilidad del suelo tratado.....	118
7.6.1	Condicionantes climáticos. Efecto de la helada .....	118
7.6.2	Condicionantes climáticos. Efecto de la desecación.....	125
7.6.3	Efecto de los sulfatos .....	126

<b>8.</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DE SUELOS TRATADOS PARA CUERPO DE TERRAPLENES .....</b>	<b>140</b>
8.1	Maquinaria a emplear .....	140
8.2	Condiciones para la colocación del material.....	143
8.3	Condiciones de acabado .....	144
<b>9.</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL .....</b>	<b>146</b>
9.1	Control en préstamos .....	146
9.2	Control de la tongada colocada .....	147
9.3	Controles del procedimiento .....	147
9.4	Estimación del comportamiento final del terraplén .....	148
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>151</b>
<b>11.</b>	<b>LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS .....</b>	<b>155</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>158</b>
 <b>ANEJO I. ENSAYOS DE LABORATORIO.....</b>		<b>174</b>

## RESUMEN

Dada la importancia creciente que presenta la reutilización total en las infraestructuras lineales de los materiales excavados para minimizar la afección ambiental por creación de nuevos préstamos o vertederos, se están desarrollando metodologías y procedimientos para el aprovechamiento de materiales que, de acuerdo con el pliego de Carreteras, se definirían como marginales.

La marginalidad de un suelo puede ser debida bien a su naturaleza arcillosa plástica o a la presencia de yesos o sales solubles o materia orgánica, etc., o incluso a una distribución granulométrica que no pueda encuadrarse dentro del terraplén ni del todo-uno.

Un volumen importante de materiales marginales que podrían ser reutilizados con el procedimiento adecuado serían los arcillosos plásticos, con la gran ventaja de que estos suelos son habituales dentro de los depósitos terciarios de origen continental, muy abundantes en la península ibérica.

De acuerdo con esta importancia y partiendo de la propuesta de reutilización de materiales marginales y estructura de terraplén que se refleja en la ponencia del Profesor Oteo, Marzo de 2.004, se ha limitado el estudio al análisis de los condicionantes para el tratamiento de estos suelos arcillosos con cal.

Tal y como recoge la extensa bibliografía consultada, y a la que se hace referencia dentro de la tesis, hay diversos puntos de importancia a considerar para la elaboración de un procedimiento de tratamiento que evite el riesgo de comportamientos indeseables y anómalos del terreno tratado, bien sea por la presencia de componentes secundarios que puedan reaccionar con la cal y provoquen la pérdida a largo plazo de la capacidad portante, o porque las condiciones de temperatura durante la colocación impidan el correcto fraguado del tratamiento.

Para cada uno de los puntos analizados y que seguidamente se exponen, se ha realizado previamente una recopilación de toda la bibliografía existente y en base a las conclusiones de esta misma, se han realizado los ensayos necesarios para la comprobación de sus postulados.

En primer lugar, se ha analizado cómo influye en el comportamiento del material las variaciones en la estructura mineralógica de la arcilla, describiendo las distintas fases que pueden diferenciarse dentro del complejo fenómeno de la acción de la cal con la arcilla y el agua.

En segundo lugar, se ha realizado un análisis de los métodos para la determinación del porcentaje del tratamiento, destacándose cuál debe ser la granulometría del material ensayado en laboratorio para que los resultados que se obtengan sean representativos del material que realmente se coloque en el terraplén. En base a esto, se realizan unas recomendaciones sobre el porcentaje de material desmenuzado (binder), que debe presentar las capas colocadas en terraplén, y cuál sería la malla de corte para la definición de este material.

En tercer lugar se ha estudiado el efecto de la maduración o periodo en el que se deja actuar el suelo parcialmente humedecido con la dotación de cal, antes de proceder a la humectación y mezclado final y compactación de la capa. La necesidad de este proceso, recomendado en todas las normativas americanas, es cuestionada por algunos investigadores ingleses; de los resultados obtenidos en los ensayos realizados para esta tesis, se deduce que la importancia de la maduración es escasa, y por tanto las conclusiones estarían próximas a los criterios establecidos por investigadores de la Gran Bretaña.

Otro aspecto tratado en cuarto lugar es la variación de la capacidad portante y de la estabilidad frente al agua del material tratado según cuál sea el porcentaje de humedad. De los resultados obtenidos, y tal y como se recoge en recomendaciones tanto inglesas como americanas, se deduce que con el empleo de tratamiento de cal puede aumentarse

notablemente el rango de humedades del lado húmedo en que es estable la plataforma, y por otro lado la mezcla es tanto o más insensible al agua cuanto mayor sea la humedad de colocación o mezclado.

Por la influencia de las técnicas de estabilización, parecería obligado el empleo de rozadoras de eje horizontal, como única maquinaria capaz de garantizar una suficiente trituración y mezclado del material a tratar con el ligante. Sin embargo, tal y como se justifica mediante ensayos de muestras tomadas, la disgregación y mezclado mediante el empleo de pata de cabra puede dar resultados suficientes en cuerpo de terraplenes, aunque razonablemente para las capas de coronación siga siendo aconsejable el empleo de la maquinaria tradicional de estabilizaciones.

Finalmente, se ha analizado la estabilidad, esto es, el mantenimiento de sus propiedades y como las mismas pueden verse influidas o alteradas por la presencia de sulfatos en los suelos a tratar o en el agua que sature el terreno con posterioridad al tratamiento, por las bajas temperaturas que producen la paralización de las reacciones entre el suelo arcilloso y la cal aportada, etc.

Tanto de la recopilación bibliográfica como de los ensayos realizados, se ha concluido que en el caso de tratamientos con cal de suelos que contienen sulfatos, la pérdida de resistencia va a ser tanto mayor cuanto mayor sea el porcentaje de cal hidratada, lo que se produce incluso con pequeños contenidos de sulfatos. Debe destacarse que la parte principal de pérdida de resistencia puede llegar a producirse después de 3 meses de realización de la mezcla en las probetas de laboratorio. Sin embargo, el suelo tratado con un porcentaje reducido de cal, como sería el necesario para el tratamiento del cuerpo de un terraplén, puede mantener unos parámetros suficientes a pesar de que el terreno contenga sulfatos.

Respecto al efecto de la helada, se han comprobado las conclusiones reflejadas en la bibliografía sobre la pérdida de resistencia que se produce cuando durante el periodo de maduración y fraguado de la mezcla se alcanzan temperaturas de helada. Sin embargo, y

contrariamente a lo publicado por algunos autores canadienses, no se ha observado ninguna recuperación de la resistencia cuando después del periodo de helada vuelve a alcanzarse un periodo de temperaturas más cálidas.

Finalmente, se ha incluido un procedimiento constructivo así como los métodos de control de los materiales tratados que se ha empleado en algunas de las obras realizadas en España y en las que se han realizado parte de las investigaciones que se exponen en esta tesis.



## **ABSTRACT**

Given the growing importance of the entire re-use of excavated materials in linear infrastructures in order to minimise the affect on the environment by creating new loans or dumps, methods and procedures for exploiting materials are being developed that, in agreement with the Road specifications, are defined as marginal.

The marginality of a ground can be due to its intrinsic clayey nature or to the presence of gypsum or soluble salts or organic material etc., or even of a grade distribution that cannot be adhered to the embankment or the mixed grade.

A great amount of marginal materials that could be re-used by using an adequate procedure are clays. There exists the advantage that this ground is usually found in tertiary deposits on the Continent, and it is very abundant in the Iberian Peninsula.

Taking into account this aspect of importance and with regard to the proposal about re-use of marginal materials and embankment structure reflected in Professor Oteo's presentation in March 2004, the study was limited to analysing the conditions for treating clayey ground with chalk.

As the extensive bibliography consulted shows, and to which reference is made within the thesis, there are different points of importance to consider. These important points are about the creation of a treatment procedure that avoids the risk of undesirable behaviours and anomalies of the treated ground - whether it be because of the presence of secondary components that might react with the chalk and provoke the eventual loss of the capacity it supplies, or because of the temperature conditions when the material is laid which prevent the treatment to set correctly.

For each of the points analysed and repeatedly stated, a compilation of all the existing bibliography has been carried out previously and, based on the conclusions drawn from it, the necessary tests have been carried out to check their proposals.

First of all, the influence the variations in the clay mineralogical structure has on the material was analysed. The different phases that might differentiate themselves within

the complex phenomenon of the reaction of chalk with clay and water have been described.

Secondly, an analysis of the methods for determining the percentage of treatments was carried out. What the grading of the material tested in the laboratory should be in order the results obtained truly represent the material that will be used in the embankment was also included. Based on this, some recommendations are made about the percentage of binder material the layers in the embankment should have, and what the section cut to define this material should be.

Thirdly, the effect of maturing, or the period in which the ground partially moistened with the addition of chalk is left to react, has been studied before proceeding with the humidifying procedure and the final mix and compacting of the layer. Some British researchers question the necessity of this process that is recommended in all the American regulations. From the results obtained from the tests carried out for this thesis, it has been deduced that there is a lack of importance placed on this maturing, and therefore the conclusions drawn would be closer to the criteria established by the researchers in Great Britain.

A fourth aspect looked at, is the variation of the carrying capacity and of the stability against the water in the material treated according to what the percentage of humidity is. From the results obtained, and as shown in both the British and American recommendations, it is deduced that with the employment of treatment with chalk the range of humidity on the damp side in which the platform is stable can increase notably. On the other hand, the mix remains or is more insensitive to water when the humidity of the material to be laid or the mix is greater.

Because of the influence of stabilisation techniques, it would appear to be obligatory to employ horizontal axis cutters, as the only machines capable of guaranteeing a sufficient grinding and mix of the material to be treated with binder. However, as justified by the tests of samples taken, disintegration and mixing through the employment of a sheep's foot can give sufficient results in the embankment body. Although this should be used within reason - for the coronation sediment layers it remains advisable to use traditional stabilising machinery.

Finally, the stability was analysed. That is, the maintenance of its properties and how they might be influenced or altered by the presence of sulphates in the ground that need treating or in the water that saturates the ground after treatment, due to low temperatures. These may create the paralization of reactions between the clayey ground and the chalk applied to it, etc.

As much in the compilation of the bibliography as well as in the tests carried out, it has been concluded that in the case of treatments with chalk of ground that contains sulphates, the loss of resistance is going to be greater where there is a greater percentage of hydrated chalk. The same as is also produced with small contents of sulphates. It must be highlighted that the principal part of resistance loss can be produced up to 3 months after carrying out the mix in the laboratory test tubes. However, the ground treated with a reduced percentage of chalk, as would be necessary for the treatment of an embankment body, can maintain some sufficient parameters despite the fact the land contains sulphates.

With regard to frost, the conclusion reflected in the bibliography about the loss of resistance produced when temperatures that create frost are reached during the period of maturing and setting of the mix have been tested. However, and to the contrary of what is published by some Canadian authors, no recuperation of resistance was observed after a period of frost when temperatures returned to being warmer afterwards.

Finally, a constructive procedure has been included as well as the methods of control of the treated materials that have been used in some of the works carried out in Spain and in those that have been carried out as part of the research set out in this thesis.

## LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1.1.-** Situación de vertederos en el entorno de Madrid
- Figura 3.1.-** Posibles secciones de terraplén con material arcilloso marginal
- Figura 3.2.-** Estructura de terraplén en la M-45, Tramo I
- Figura 3.3.-** Solución utilizada en la M-45, Tramo II
- Figura 3.4.-** Sección propuesta para autovía en Tierra de Campos
- Figura 3.5.-** Criterio de clasificación de arcillas para definición de estructura de terraplén
- Figura 5.1.-** Influencia del índice de plasticidad en el porcentaje de retracción
- Figura 5.2.-** Relación entre los días a una cierta temperatura y la resistencia de curado para una mezcla de suelo tratada con cenizas
- Figura 5.3.-** Previsión, en función de la época del año, del parámetro función de la temperatura y su periodo de mantenimiento (parámetro DD, explicado en figura 5.2)
- Figura 6.1.-** Diferencia de análisis por rayos x en arcilla plástica y arcilla tratada con cal.
- Figura 6.2.-** Recomendaciones de dotación de cal hidratada para el tratamiento de suelos arcillosos en subbases y bases en función del índice de plasticidad de la arcilla (abcisas) y del porcentaje de binder o material que pasa por el tamiz # 40
- Figura 6.3.-** Organigrama para el estudio del tratamiento de un suelo con cal
- Figura 6.4.-** Variación del índice CBR inmediato o IPI (sin inmersión) en función de la dosificación de cal y de la humedad
- Figura 6.5.-** Dosificación de cal necesaria en función de la humedad de compactación para obtener un índice CBR inmediato de 5, 10 y 15
- Figura 6.6.-** Dosificación de cal necesaria para obtener un índice CBR inmediato de 5, 10 y 15 en función del índice CBR del suelo sin tratar
- Figura 6.7.-** Variación de la resistencia a compresión de las mezclas de distintos tipos de suelo con cal en seco en función del tiempo de maduración
- Figura 6.8.-** Variación de la resistencia a compresión de las mezclas de distintos tipos de suelo con cal con porcentajes elevados de humedad en función del tiempo de maduración
- Figura 6.9.-** Cambios de volumen de muestras tratadas con cal en función del tiempo de maduración
- Figura 6.10.-** Variación del índice CBR con la humedad y la maduración

- Figura 6.11.-** Variaciones de la resistencia a compresión de muestras curadas durante 48 horas a 48.9° (curado acelerado del método de Illinois) para distintos porcentajes de cal y sometidas a ciclos de humectación y helada
- Figura 6.12.-** Variación del contenido en sulfatos para las distintas profundidades después de la construcción de la autovía
- Figura 6.13.-** Relación entre la humedad final de material estabilizado con su contenido en sulfatos
- Figura 7.1.-** Huso granulométrico arcillas arenosas Carrión de los Condes
- Figura 7.2.-** Plasticidad de las arcillas arenosas de Carrión de los Condes
- Figura 7.3.-** Curvas de compactación
- Figura 7.4.-** Huso granulométrico arcillas limosas de Cedillo
- Figura 7.5.-** Plasticidad de las arcillas limosas de Cedillo
- Figura 7.6.-** Granulometría de la muestra a tratar con cal, una vez eliminados los elementos que no pasan por el tamiz # 10
- Figura 7.7.-** Análisis por rayos x de arcillas maduras
- Figura 7.8.-** Granulometría de las arenas arcillosas de Carrión de los Condes
- Figura 7.9.-** Análisis espectral de arcillas arenosas de Carrión de los Condes tratadas
- Figura 7.10.-** Análisis espectral de pizarras arcillosas de Cedillo tratadas
- Figura 7.11.-** Variación de la evolución de la resistencia con el tiempo según la maduración
- Figura 7.12.-** Variación en la disgregación de la muestra para mezclado con pata de cabra o rotobator
- Figura 7.13.-** Variación del índice CBR deducido con el tiempo de curado para las tongadas de ensayo realizadas en Diciembre de 1999
- Figura 7.14.-** Evolución de las presiones de hinchamiento en las muestras tomadas de las tongadas experimentales de Diciembre de 1999
- Figura 7.15.-** Curva granulométrica del material ensayado
- Figura 7.16.-** Gráfico de compactación con la energía del Proctor Normal
- Figura 7.17.-** Variación de la resistencia a compresión con el tiempo
- Figura 7.18.-** Variación de la resistencia a compresión con el tiempo
- Figura 7.19.-** Variación de la relación entre la resistencia a compresión a 30 y 90 días respecto a la de 3 días en función de la temperatura y para varios porcentajes de cal
- Figura 7.23.-** Distribución granulométrica del material ensayado
- Figura 7.24.-** Variación de  $Q_u$  con el contenido en sulfatos para roturas a 48 días

- Figura 7.25.-** Variación de  $Q_u$  con el contenido en sulfatos para roturas a 356 días
- Figura 7.26.-** Variación de  $Q_u$  con el contenido en sulfatos para roturas a 909 días
- Figura 7.27.-** Evolución de  $Q_u$  para un 3% de cal y distintos porcentajes de sulfatos
- Figura 7.28.-** Evolución de  $Q_u$  para un 6% de cal y distintos porcentajes de sulfatos
- Figura 7.29.-** Distribución granulométrica del material ensayado
- Figura 7.30.-** Variación de la resistencia a compresión con el tiempo para distintos porcentajes de cal y con mezclas sin maduración
- Figura 7.31.-** Variación de la resistencia a compresión con el tiempo para distintos porcentajes de cal y con mezclas con maduración
- Figura 7.32.-** Variación de la resistencia a compresión con el tiempo para mezclas realizadas con el mismo porcentaje de cal y con o sin maduración

## LISTADO DE TABLAS

- Tabla 4.1.-** Comportamiento a largo plazo de arcillas tratadas
- Tabla 6.1.-** Exigencias de resistencia considerando el riesgo de helada
- Tabla 6.2.-** Variación del índice CBR y del entumecimiento para muestras de arcilla de Londres tratadas con un 2.5% de cal viva SG-60 y con un tiempo de maduración de 4 horas
- Tabla 7.1.-** Resultados tongadas experimentales realizadas la primera semana de Diciembre de 1999, en las pistas de ensayo de la M-45.
- Tabla 7.2.-** Efecto de la helada
- Tabla 7.3.-** Variación de  $Q_u$  con el tiempo para muestras con 2% de cal hidratada
- Tabla 7.4.-** Variación de  $Q_u$  con el tiempo para muestras con 4% de cal hidratada

## LISTADO DE FOTOS

- Foto 5.1.-** Vista de un rotobator (tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)
- Foto 5.2.-** Estabilizadora
- Foto 5.3.-** Vista de las picas del eje de rozado de una estabilizadora
- Foto 5.4.-** Arado para espesor de tongada de 45 cm (tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)
- Foto 5.5.-** Grada de rejas
- Foto 5.6.-** Vista de una grada de discos (tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)
- Foto 5.7.-** Pata de cabra o rodillo dentado (tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)
- Foto 5.8.-** Cristales de ettringita
- Foto 5.9.-** Foto de estructura con presencia de ettringita
- Foto 5.10.-** Estructura suelo con abundancia de ettringita
- Foto 6.1.-** Estructura de arcilla montmorillonítica
- Foto 6.2.-** Estructura de arcilla montmorillonítica tratada con cal
- Foto 6.3.-** Estructura arcilla con cal inmediatamente después del tratamiento
- Foto 6.4.-** Estructura arcilla con cal después de 90 días de curado
- Foto 6.5.-** Estructura de arcilla no tratada
- Foto 6.6.-** Estructura de arcilla tratada con cal viva y sin maduración
- Foto 6.7.-** Estructura arcilla tratada con ceniza volante
- Foto 6.8.-** Estructura de arcilla tratada con cemento
- Foto 6.9.-** Preparación de la probeta
- Foto 6.10.-** Aislamiento de la muestra mediante envoltura plástica
- Foto 6.11.-** Muestras aisladas sacadas de curado en estufa
- Foto 6.12.-** Rotura en prensa de las muestras
- Foto 7.1.-** Estructura a largo plazo de arcilla tratada con cal
- Foto 7.2.-** Detalle de unión entre pantallas
- Foto 7.3.-** Detalle de un puente de unión entre partículas
- Foto 7.4.-** Estructura a largo plazo del suelo tratado
- Foto 7.5.-** Detalle de uniones y crecimientos de protuberancias a largo plazo
- Foto 7.6.-** Estructura a largo plazo de un suelo tratado con cemento y ceniza
- Foto 7.7.-** Detalle de las protuberancias debidas a las cenizas producidas a largo plazo
- Foto 7.8.-** Disgregación con pata de cabra
- Foto 7.9.-** Disgregación con Rotobator



## **IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

### 1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Tradicionalmente, los suelos que por su naturaleza no cumplían las condiciones que se fijaban como mínimas en las distintas normativas para su utilización en terraplenes de obras lineales, se consideraban inadecuados, eliminándose a vertedero.

En las grandes obras lineales, esto plantea un problema tanto de necesidad de préstamos para realizar los terraplenes que no pueden ejecutarse con los anteriores materiales, como de vertederos, ya que es necesario encontrar superficies en donde acumular estos materiales. Este problema se agrava en el entorno de las grandes ciudades, por las siguientes razones:

- Los préstamos de materiales de suficiente calidad, próximos al entorno urbano, han sido explotados por obras anteriores, lo que obligaría a buscar préstamos a distancias muy elevadas.
- La disposición de vertederos en el entorno próximo a los términos municipales presenta cada vez mayores dificultades, tanto por problemas de impacto ambiental, como por la calificación urbanística de las distintas zonas.
- Tanto para el caso de traer materiales de préstamos, como para mandar los suelos inadecuados a vertederos, estos movimientos deben realizarse a través de carreteras normalmente muy transitadas y congestionadas, lo que no sólo provoca un mayor coste de transporte de estos materiales, sino que además puede perturbar gravemente el tráfico en las vías urbanas.

Por otro lado, y desde una perspectiva más amplia, la experiencia ha demostrado que los vertederos históricamente colocados en el entorno del término municipal, antes o después han sido colonizados por la expansión urbanística, lo que ha ocasionado un sobrecosto social debido a los siguientes puntos:

- Necesidad de eliminación de estos vertederos y su traslado a zonas más lejanas del término municipal.
- Necesidad en muchos casos de cimentaciones profundas para respetar la morfología que haya quedado por la posición del vertedero.

En este último caso, rápido deterioro de los viales y elementos de urbanización, ya que los mismos sí apoyan directamente sobre los vertidos.

En la **figura 1.1** se ha representado la disposición de los principales vertederos de inertes conocidos en el entorno de Madrid, aunque evidentemente existen muchos más de naturaleza ilegal, y que en muchos casos son difícilmente diferenciables de la morfología del terreno. Los materiales existentes en estos vertederos no son sólo restos de demoliciones, sino también y en un porcentaje alto los suelos inadecuados o excedentes de las grandes obras lineales especialmente las circunvalaciones del término municipal.



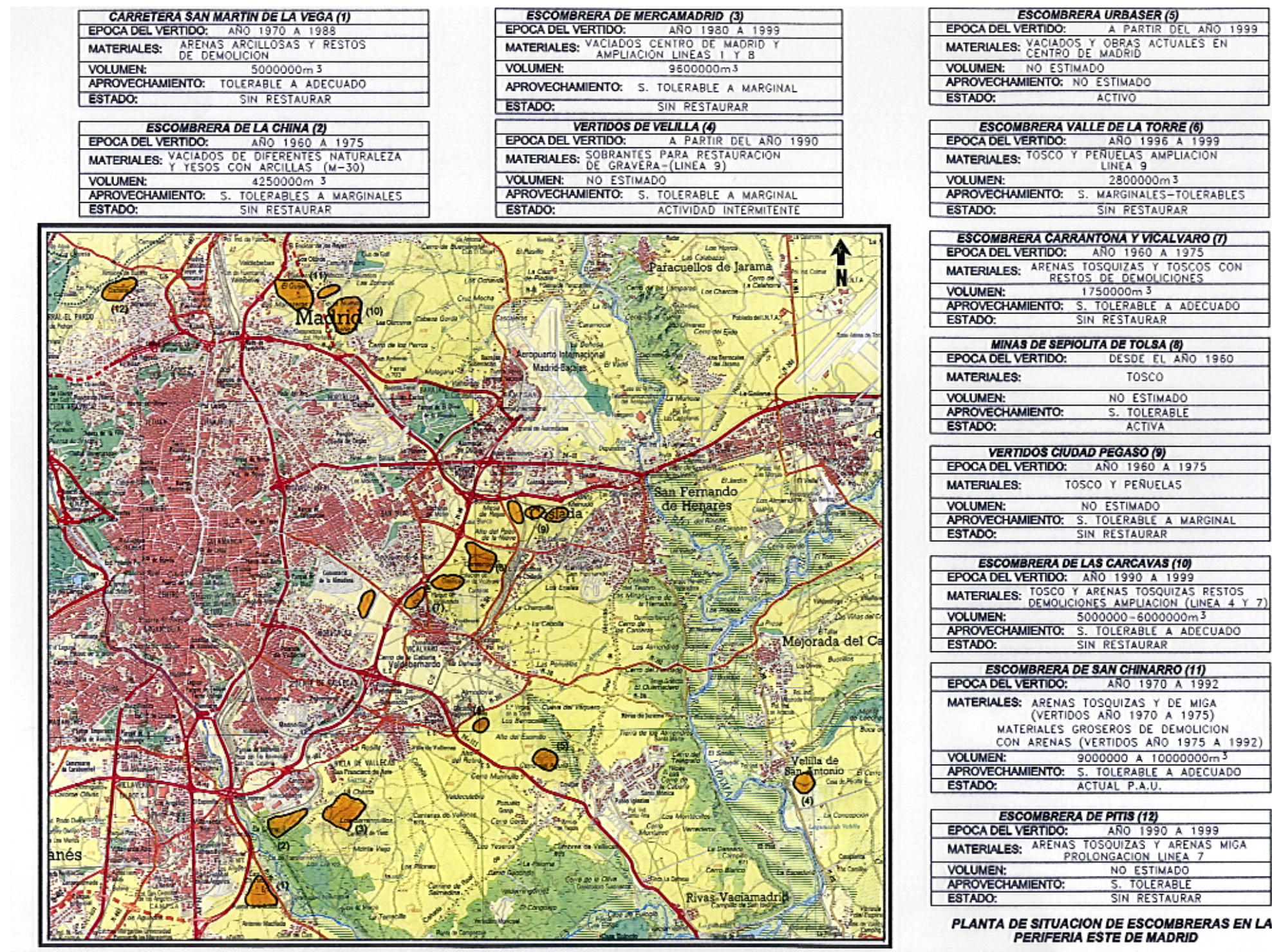


Figura 1.1 – Situación de vertederos en el entorno de Madrid



Por tanto, el problema de posibilidad de reutilización de algunos tipos de suelos inadecuados mediante un tratamiento permite las siguientes ventajas:

- Evita que el material inadecuado deba llevarse a vertedero o la necesidad de creación de éste último, lo que siempre presenta mejoras desde el punto de vista medioambiental, incluso aunque la zona de la obra esté alejada de los entornos urbanísticos.
- Hace innecesaria la apertura de préstamos de materiales de calidad, lo que obliga a la explotación de suelos granulares gruesos, esto es, terrazas o aluviales que en general son zonas de mayor aprovechamiento agrícola. En un área ocupada por un material de terraza, la eliminación del mismo conduce en muchos casos a la pérdida total de la fertilidad de la tierra, o al menos a la necesidad de mejora de ésta, incluso teniendo que modificar el aprovechamiento agrícola hacia tipos de cultivo más propios de secano y de terrenos más pobres.
- Limita las congestiones en las carreteras periféricas cuando se realizan las grandes obras lineales, especialmente las de circunvalación de zonas urbanas.

En base a estas tres ventajas primordiales, se han desarrollado técnicas para la mejora de materiales, utilizando un producto aglomerante o de tratamiento, que normalmente estaría englobado dentro de uno de los siguientes tipos:

- Compuestos de cal
- Compuestos de cemento
- Compuestos de ceniza o escoria triturada de horno
- Compuestos mixtos

### a) Compuestos de cal

Dentro de este estudio vamos a denominar cal a cualquier producto que pueda reaccionar con el suelo mejorando sus propiedades *en base a su contenido o formación de hidróxido cálcico*.

Así pues, de cara al tratamiento de suelos, el material que denominamos “cal” no tiene por qué cumplir la Instrucción RCA-92: “Instrucción para la recepción de cales en obras de estabilización de suelos”.

Por consiguiente, entrarían dentro de la denominación más amplia:

- Cal viva o hidratada de composición y calidad garantizada (como son las cales suministradas por los miembros de ANCADE).
- Cal viva o hidratada procedente de productores que ofrecen productos de menor calidad, bien sea porque empleen una menor finura de molido previa a la calcinación (que darían partículas con su núcleo de carbonato cálcico y únicamente su superficie exterior calcinada y formando óxido de calcio) o porque el tratamiento de calcinación sea insuficiente. Así, los residuos que quedan en la base de los hornos verticales de

calcinación corresponden a estas partículas más gruesas, e insuficientemente calcinadas, y que no son capaces de ser arrastradas por el ciclón.

- Residuos procedentes de actividades industriales, que contienen hidróxido cálcico, como es el caso de los lodos de clarificación de los azúcares procedentes de la remolacha y los lodos de las plantas de tratamiento de agua de abastecimiento, mediante el empleo de cal.

Para comprobar la utilidad como elemento de tratamiento de cualquier producto de esta naturaleza, podrían seguirse dos caminos:

- \* Analizar la composición del material que se va a emplear como aglomerante, y en concreto su contenido en óxido o hidróxido cálcico.
- \* Determinar la mejora en el comportamiento del suelo cuando se mezcla con alguno de estos tipos de aglomerante.

Es razonable utilizar el segundo criterio, que además seguiría la metodología tradicional en la mecánica de suelos, y que el grado de efectividad del tratamiento se mida en función de la mejora de las propiedades obtenidas, y por consiguiente, pueda prescindirse de los estudios de determinación de la composición del producto.

Por otro lado, las dificultades de mezclado inherentes a los propios procesos a seguir en la obra y a la maquinaria existente, obligan siempre a la utilización de porcentajes superiores a los necesarios en laboratorio, con lo que prácticamente sería indiferente la existencia de una mayor carbonatación o contenido en inerte en el producto denominado como “cal para tratamiento del suelo”, o que se esté utilizando un lodo procedente de residuos que además tuviera otros elementos.

Más importante que el punto anterior, de cara a la utilización en el tratamiento de terrenos es, para el caso de la vía seca, la granulometría del material empleado. En un compuesto comercial de cal hidratada es fundamental, y como tal se busca, conseguir una granulometría muy fina, que garantiza siempre un porcentaje muy superior de hidróxido cálcico. Sin embargo, de cara a la extensión por vía seca de este material sobre una capa de terreno, esto es claramente un inconveniente, ya que el material extendido resultaría muy volátil, y por tanto podría provocar problemas ambientales en el caso de que la obra esté próxima a una carretera o centro habitado.

El empleo de la cal viva presenta mayores problemas, debido a su agresividad, que obliga a que el personal de trabajo en una obra tenga protecciones especiales en vestimenta y mascarillas (a pesar de que la granulometría de la cal apagada comercial es mucho más gruesa que la de la cal hidratada).

A pesar de que su coste sería más reducido atendiendo a su efectividad (en la cal hidratada se paga al mismo precio, similar al de la cal viva, tanto el óxido cálcico como el agua de hidratación), las dificultades por seguridad y salud de colocación de este material hace que el mismo sólo sea aconsejable para extendido por vía húmeda o, en el caso de extendido por vía

seca, en problemas en que prime la necesidad de desecación del suelo o pérdida de la excesiva humedad del mismo frente a la mejora de sus propiedades resistentes.

### b) Compuestos de cemento

La utilización en los tratamientos de suelo de compuestos de cemento, se ha limitado hasta ahora casi exclusivamente a las capas de coronación o de la parte inferior de la superestructura del firme.

Hemos denominado el material aglomerante como compuestos de cemento, ya que de acuerdo con la normativa actual existente en España, así como en otros países, se permite la denominación de cementos, tanto a los materiales obtenidos por la molienda del clinker, que es lo que se ha denominado tradicionalmente como cemento Pórtland (cemento CEM-I), las mezclas de cemento Pórtland con aditivos minoritarios (CEM-II y CEM-III), y cementos en que el aditivo puede representar porcentajes de hasta la mitad del elemento aglomerante (CEM-IV y CEM-V).

Debe destacarse esta división, ya que los cementos con mayor porcentaje de aditivos, como el CEM-IV y CEM-V, entrarían en muchos casos dentro de las normativas y bibliografías internacionales propias de la utilización de cenizas volantes activadas con cemento.

### c) Compuestos de ceniza o escoria triturada de horno

Otro elemento aglomerante utilizado para el tratamiento de suelo es tanto las cenizas volantes procedentes de los filtros de las térmicas, como la escoria de horno pulverizada.

Como se ha comprobado, estos residuos tienen un marcado carácter puzolánico, que puede estar naturalmente en el producto, como es el caso de las cenizas procedentes de la combustión de pizarras bituminosas, o necesitar de una activación mediante cal o cemento, como es el caso de las cenizas de térmicas de lignitos o turbas.

En España predominan las del segundo tipo, esto es, que necesitarían activación mediante cemento o cal.

Los principales problemas que presenta la utilización de este residuo es por un lado que toda la producción de ceniza volante de las térmicas está comprometida para su venta con las cementeras, con lo que este producto debe comprarse a través de ellas, y por otro lado que cada vez es menor la energía que se produce por combustión de carbón, ya que se sustituye este mismo por las térmicas de gas con lo que incluso la producción de cenizas es insuficiente para las necesidades de las propias cementeras.

Lógicamente, las compañías cementeras no pueden vender un producto que les es necesario para la fabricación de los cementos compuestos, lo que se ve agravado en el caso de años hidrológicos húmedos, en que la producción de energía eléctrica en las térmicas de carbón es menor, con lo que disminuye la producción de cenizas, y prácticamente toda ella se destina a su incorporación al cemento Pórtland para la realización de cementos compuestos.

El otro producto utilizable para el tratamiento sería la escoria triturada, que corresponde a los restos de la combustión que se quedan en el fondo del horno.

Obviamente, estos materiales presentarán no sólo un grado de finura menor que el de la ceniza volante, que se queda en el filtro de evacuación de humos, sino además su grado de calcinación será decreciente desde la superficie hasta el interior del grano, esto hace que su poder puzolánico sea inferior.

El otro inconveniente que presenta este producto es que dentro de las térmicas donde se acumula no tiene ningún control, y en algunos casos se suministran residuos de más de 10 años, que han perdido totalmente la actividad, e incluso presentan dificultades para su reactivación con cal o cemento. Sin embargo, de acuerdo con la bibliografía existente, este residuo, recién producido por el horno, debidamente molturado, y si es necesario activado con cal o cemento, puede producir un comportamiento de mejora en los suelos similar al que se obtendría con una ceniza volante, aunque sea necesario un mayor porcentaje del mismo.

### d) Compuestos mixtos

Serían los aglomerantes formados por uno o más compuestos de los tipos anteriores.

Así, y como ya se ha citado, el empleo de un cemento tipo Pórtland con cenizas volantes daría lugar a una ceniza activada con cemento o incluso, de acuerdo con la normativa española, a un CEM-IV o CEM-V.

En diversas normativas se recomienda, para el tratamiento de suelos de tamaño medio mayor que el de arcilla (limos), las mezclas de cal y cemento, aunque el principal problema que presentan estos compuestos mixtos es que la mezcla no es suministrada por ninguna compañía, con lo que debe realizarse en obra.

De acuerdo con las experiencias del Estado de Illinois, fundamentalmente orientadas hacia la utilización de cenizas y escorias, con mezclas de cal y ceniza y escoria pueden conseguirse elementos aglomerantes con un amplio rango de utilización, desde arcillas hasta arenas, y que con una adecuada dosificación permiten alcanzar mejoras muy superiores a las que en cualquier caso podría alcanzarse con la cal.

Existen países en donde se comercializan “mezclas magistrales”, cuya composición no se indica ni en sus elementos ni en sus porcentajes, pero que evidentemente básicamente van a estar constituidas por un tipo de ceniza, cemento y cal, de forma que se cumplan las exigencias necesarias en un aglomerante, y que son:

- Fácilmente mezclable con el suelo al que debe tratar
- Obtención de resistencias iniciales suficientes para el trabajo de la maquinaria, en caso de que ésta deba pasar por encima del material tratado.

- Obtención de resistencias a largo plazo suficientemente elevadas para que, bajo los esfuerzos de fatiga debido a la acumulación de las sollicitaciones de uso, no se produzca ninguna degradación del material tratado.
- Insensibilidad del material tratado, esto es que no presente variaciones de volumen ni de resistencia, tanto por efecto de modificación en su contenido en humedad, como por efecto de la helada, soleamiento, etc.

### e) Otros compuestos

Se están empezando a comercializar actualmente otros compuestos aglomerantes de partículas arcillosas y/o arenosas bajo las denominaciones generales de “enzimas” o polímeros.

Este tipo de aditivos se recomendaban inicialmente para suelos con elevado contenido en materia orgánica, y de ahí recibieron el nombre de “enzimas”, aunque posteriormente se intentan comercializar los mismos para la cementación tanto de elementos granulares como cohesivos, o incluso arcillas de alta plasticidad.

Durante el desarrollo de esta tesis se han podido preparar probetas y realizar ensayos con estos compuestos, cuya utilidad todavía es dudosa, quedando fuera de este estudio el análisis de su utilidad y comportamiento, que debe ser objeto de líneas de investigación posteriores.



## **ALCANCE DEL ESTUDIO**

## 2. ALCANCE DEL ESTUDIO

Como se deduce del punto anterior, la importancia del estudio viene justificada por la aplicabilidad de los resultados que se han obtenido para la reutilización de materiales considerados no utilizables en obras lineales.

Así, en la Normativa Española de Carreteras del Ministerio de Fomento, PG-3, 2.000, se considerarían materiales inadecuados los que no cumplan alguna de las siguientes condiciones:

\* ***Contenido orgánico***

Se consideran inadecuados las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos, como tocones, ramas, etc., y también los que tengan un contenido en materia orgánica mayor del 5%.

\* ***Expansividad***

Se consideran inadecuados los materiales que tengan un hinchamiento libre, medido en el molde Proctor, superior al 5%.

\* ***Plasticidad***

Se consideran inadecuados los materiales que, teniendo un límite líquido superior a 90, quedan por encima de la línea A, esto es que su índice de plasticidad  $IP > 0,73 \times (LL - 20)$ .

\* ***Contenido en yesos***

Se limita al 20%.

De acuerdo con la norma ferroviaria UIC-719R, no serían utilizables los suelos QS0 ó “suelos impropios”, y que serían:

- Suelos orgánicos
- Suelos finos (con más de un 15% de finos) entumecidos, húmedos y que por lo tanto no se pueden compactar
- Suelos tixotrópicos (arcillas colapsables por ejemplo)
- Suelos que contienen materiales solubles (sal gema o yeso)
- Suelos que contienen materiales contaminantes (residuos industriales, por ejemplo)
- Suelos mixtos “minerales orgánicos”

No se especifica en la norma UIC, una descripción cuantitativa de estos tipos de suelos.

En la Normativa Española para las obras ferroviarias de alta velocidad elaborada por el G.I.F., y que se incluye dentro de los documentos IGP-2004, se realiza ya una clasificación más cuantitativa de los materiales que no pueden utilizarse en terraplenes ferroviarios, y que sensiblemente es parecida a la que se utiliza en carreteras. Así, se tendría:

- No pueden utilizarse materiales con límite líquido  $> 50$ .
- Densidad Proctor de  $1,75 \text{ t/m}^3$
- No pueden utilizarse materiales con índice CBR  $\leq 5$
- No pueden utilizarse materiales con hinchamiento medido en el CBR  $< 1\%$
- No se pueden utilizar materiales con más del 15% de yesos (o con más del 5% si hay indicación al respecto de la Dirección Facultativa).

En la actualización del 2.004 de las normas IGP, se contempla la viabilidad de utilización en todas las capas de la estructura de los rellenos ferroviarios de suelos tratados con cal, de acuerdo con un procedimiento que se incluye en la misma normativa, y que permitiría utilizar cualquiera de los materiales anteriores excepto los yesos, siempre que con el tratamiento se obtuviera una capacidad portante suficiente medida la misma mediante el ensayo CBR.

A la vista de las especificaciones anteriores, se deduce que el mayor aprovechamiento de materiales se tendría con la reutilización de los suelos arcillosos de alta plasticidad, y que por otro lado presentan mayores hinchamientos, menores índices CBR.

Dentro de la bibliografía especializada, destacan por la mayor importancia de su utilización dos tipos de tratamientos para el aprovechamiento de los materiales anteriores, y que básicamente son:

- Tratamiento con cenizas volantes, procedentes de centrales térmicas en porcentajes en general comprendidos entre el 5 y el 15%.

El tratamiento con cenizas, muy usual en algunos estados de EE.UU., en España es sin embargo poco atractivo, ya que prácticamente todas las cenizas producidas por las térmicas están comprometidas con las cementeras para la realización de los cementos tipo IV ó tipo V. *Por consiguiente, no hay disponibilidad de cenizas volantes para el tratamiento de materiales para su reutilización en cuerpo de rellenos.*

- Tratamiento con cal viva o hidratada o en cualquier caso con cualquier otro compuesto que presente óxido o hidróxido cálcico.

Este tipo de tratamiento es de forma evidente el comercialmente más viable para el aprovechamiento de suelos arcillosos plásticos. Por tanto, la mayor trascendencia que puede tener este estudio sería en lo referente a la reutilización de materiales con este ligante.

Considerando esto, el estudio va a limitarse al análisis de los tratamientos de materiales con cal hidratada, para modificación de propiedades del material, de forma que pueda utilizarse en las distintas zonas del cuerpo de un terraplén. Por tanto, este estudio se puede aplicar, dentro de los materiales considerados como suelos inadecuados, a los siguientes:

- **Suelos que presenten hinchamiento**
- **Suelos con límite líquido superior a 90, y que queden por encima de la Línea A en el gráfico de Casagrande.**

Quedan, por tanto, fuera de este estudio los tipos de suelos inadecuados debido a la presencia de yesos, sales solubles y materia orgánica, así como los que contengan materiales contaminantes (aunque existen en la bibliografía referencias a la estabilización de suelos con materiales contaminantes, especialmente minerales pesados, mediante el tratamiento con cal).

Aparte de la utilización de un aglomerante tipo cal para reutilizar un material inadecuado, también puede utilizarse este aglomerante en suelos utilizables (marginales, tolerables o incluso adecuados) para mejorar sus propiedades, y por tanto permitir su utilización en capas de mayor exigencia dentro de la estructura de un terraplén de una obra lineal.

**ESTRUCTURAS DE TERRAPLENES CON  
MATERIAL ARCILLOSO MARGINAL**

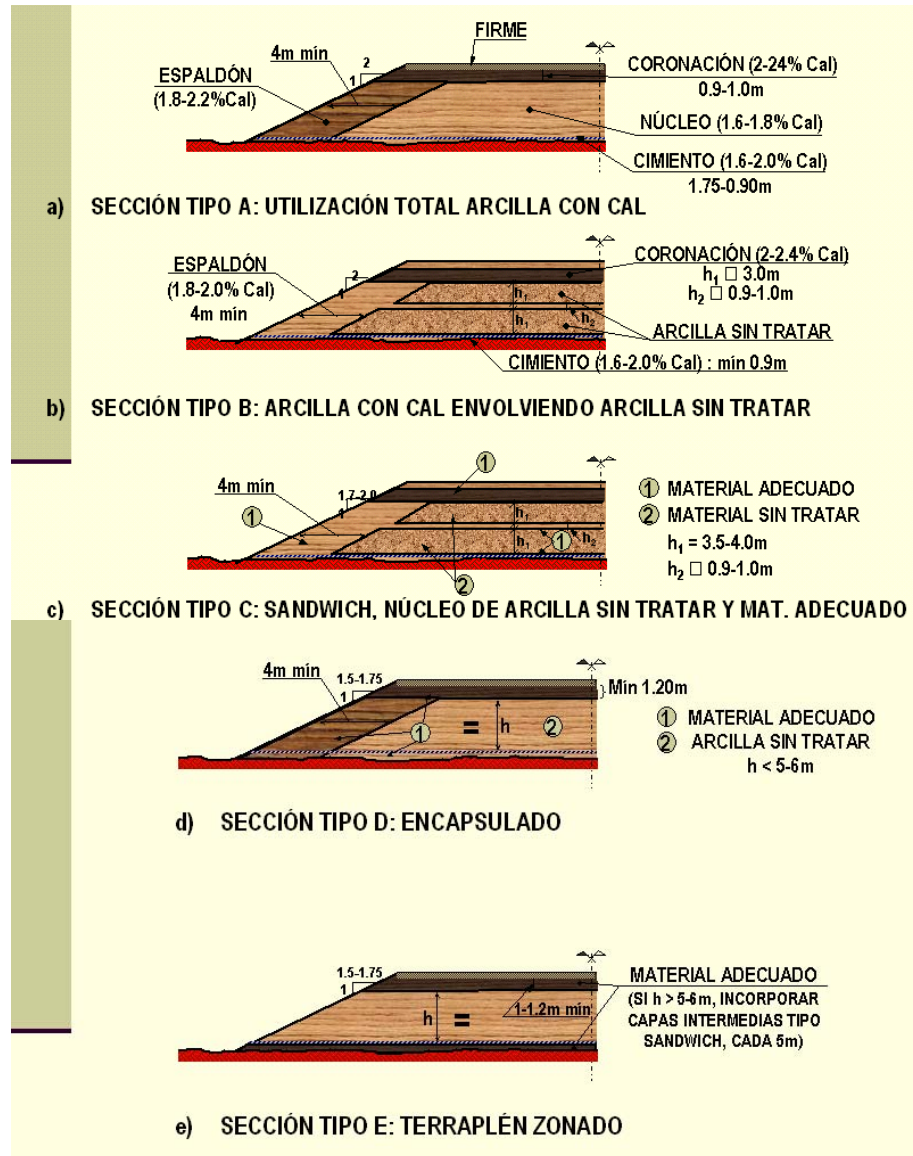
### 3. ESTRUCTURAS DE TERRAPLENES CON MATERIAL ARCILLOSO MARGINAL

En el caso de la utilización de terraplenes con material arcilloso marginal, pueden realizarse distintas estructuras de terraplenes, que básicamente podrían clasificarse en dos tipos:

- Estructuras en que se mejoran las propiedades de las arcillas marginales mediante un tratamiento de modificación con un aglomerante, como sería la cal. El material así tratado podría utilizarse dependiendo de la modificación obtenida en cimiento, cuerpo de terraplén y coronación.
- Estructuras en que se mantiene el material marginal con sus propiedades originales, pero se fija un procedimiento que haga viable su colocación (aunque sea por vía seca y el material colocado presente riesgos de asentos en el caso de que se saturara), y se protege bien sea mediante la colocación de láminas impermeabilizantes y/o anticontaminantes, espaldones de suelos de mejor calidad o incluso del material marginal con sus propiedades modificadas, etc.

Dentro de este tipo de estructuras se puede tener la necesidad de colocar capas intermedias de refuerzo realizadas con materiales de mejores características resistentes, que garanticen incluso para terraplenes altos que se va a tener un coeficiente de seguridad suficiente frente al riesgo de rotura del propio terraplén.

En la **figura 3.1** puede verse una propuesta de clasificación de estructuras de terraplén utilizando suelos arcillosos marginales, y que se ha tomado de la ponencia del Profesor D. Carlos Oteo, al IV Simposio Nacional de Geotecnia Vial (Marzo, 2004).



**Figura 3.1 – Posibles secciones de terraplén con material arcilloso marginal**

Estas secciones se han obtenido como resumen de las que se han ido utilizando en distintas obras realizadas con materiales marginales que se han citado anteriormente, y de las que destacaríamos:

- a) Terraplén realizado en la M-45, Tramo I, con materiales arcillosos marginales con densidad seca media en torno a  $1.22 \text{ t/m}^3$ .

La sección de terraplén puede verse en la **figura 3.2**.

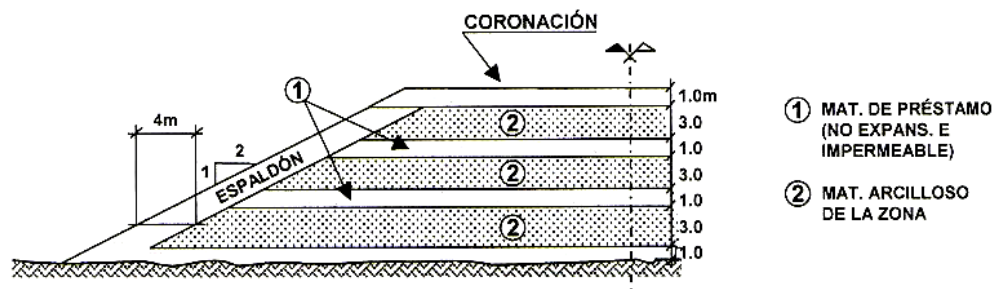


Figura 3.2 – Estructura de terraplén en la M-45, Tramo I

Como puede verse, esta estructura tiene como característica la realización de un núcleo de terraplén a base de suelo arcilloso, sin ningún tratamiento pero reforzado con capas de suelo de préstamo, no expansivo e impermeable y que presente además suficiente resistencia al corte. Es por tanto una solución de empaquetamiento de los materiales arcillosos marginales.

- b) Terraplén realizado en la M-45, Tramo II para el empleo de suelos arcillosos plásticos, que presentaban una densidad seca media del orden de  $0.90 \text{ t/m}^3$ . En la **figura 3.3** puede verse el esquema de esta solución.

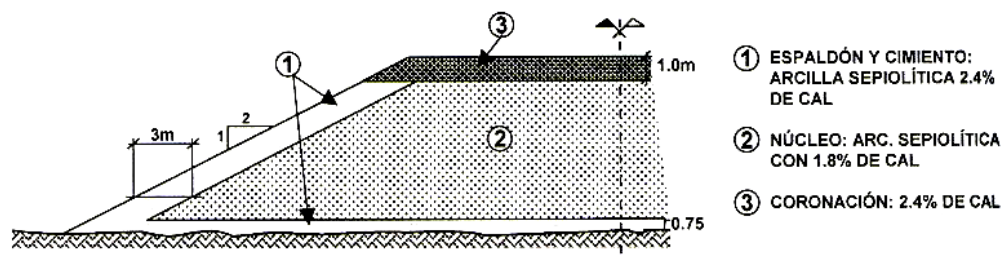


Figura 3.3 – Solución utilizada en la M-45, Tramo II

Esta estructura de terraplén contempla la modificación de propiedades de toda la arcilla colocada, pero con una mayor intensidad de tratamiento en cimentación y espaldones y sobre todo en coronación. En cualquier caso, con el tratamiento de modificación realizado todo el material colocado cumpliría todas las condiciones de suelo asimilable a tolerable (o material de calidad superior).

- c) Propuesta para autovía en Tierra de Campos para suelos arcillosos marginales de densidad media en torno a  $0.90 \text{ t/m}^3$ .

Como puede verse, esta sección que se representa en la **figura 3.4**, es intermedia entre las dos anteriores, contemplándose la realización de espaldones, coronación y capas de refuerzo mediante arcilla tratada con cal (frente al suelo no expansivo e impermeable que se consideró en la estructura de terraplén en el Tramo I de la M-45).



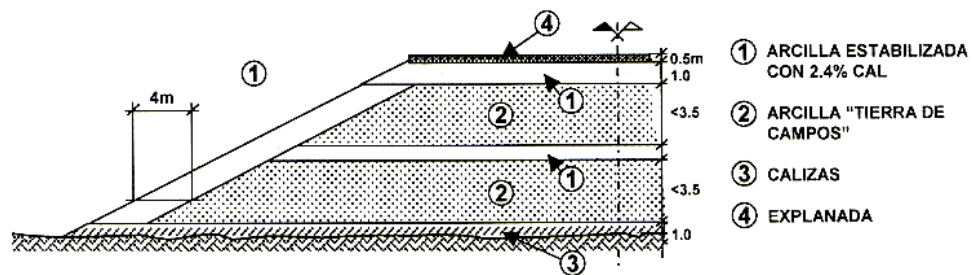


Figura 3.4 – Sección propuesta para autovía en Tierra de Campos

Como se deduce de las secciones anteriores, la utilización de cada una de las posibles estructuras de terraplén que se refleja en la figura 3.1 va a venir condicionada por los siguientes factores:

- Plasticidad que puede medirse mediante el límite líquido
- Densidad seca, que además de la plasticidad va a depender de la mineralogía de la arcilla.

En base a estos conceptos se ha realizado una propuesta de criterio de utilización de las secciones de terraplén definidos en la figura 3.1, que depende del límite líquido y la densidad seca, como puede verse en la **figura 3.5**.

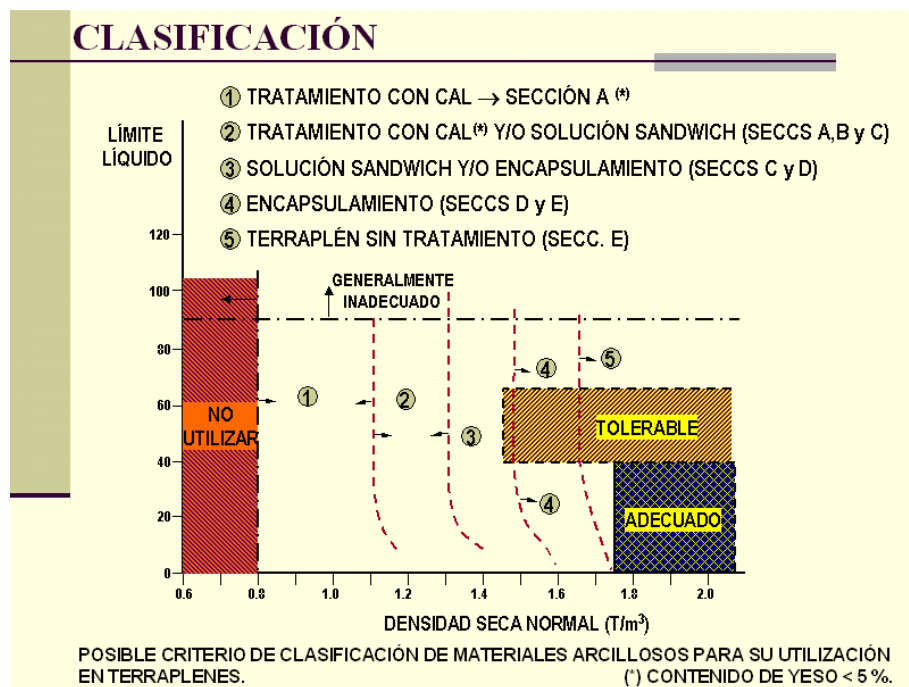


Figura 3.5 – Criterio de clasificación de arcillas para definición de estructura de terraplén

Como se deduce del gráfico anterior, para las zonas denominadas como 1 y 2, y en parte de la 3, sería obligado el empleo de arcilla con sus propiedades modificadas mediante el tratamiento con cal.

**TRATAMIENTO CON CAL**

#### 4. TRATAMIENTO CON CAL

Como se deduce de los puntos anteriores, el tratamiento con cal hidratada tiene su efectividad fundamentalmente en los materiales con presencia de finos plásticos.

Así, en la Norma Francesa (SETRA-LCPC, 1992), en su artículo 3.4.2.2, se recomienda el tratamiento solo con cal en los suelos clasificables como A<sub>3</sub>, esto es:

- Tamaño máximo < 50 mm
- Contenido en finos que pasa por el tamiz 0,080 UNE > 35%
- Índice de plasticidad IP comprendido entre 20 y 50

La recomendación de plasticidad es probablemente demasiado exigente, y sería normalmente suficiente con que el índice de plasticidad IP fuera superior a 10 (Norma del Departamento de Transporte del Gobierno Británico).

Respecto al valor máximo de las condiciones de plasticidad del suelo, no existe un límite rígido en la bibliografía, y así:

- En el PG-3, 2000, únicamente se indica que cuando el índice de plasticidad sea superior a 50, el mezclado de la cal debe realizarse en dos fases, disponiendo un periodo de maduración mayor de 24 horas entre ambas.
- En la Norma Francesa SETRA-LCPC, 1992, no se consideran utilizables incluso con tratamiento, los suelos denominados como A<sub>4</sub>, en que el índice de plasticidad es mayor de 50.
- En las Normas Inglesas “Specification for highway works” del TTRL, (Serie 600 “Earthworks”), tabla 6/1, fila 9B, se contempla la estabilización con cal, indicándose que la misma debe realizarse en materiales tipo 7E, esto es, con un índice de plasticidad inferior a 10, y un contenido en finos (pasa tamiz 0,063 mm) entre el 15 y el 100%. También, en las mismas normas en su edición de 1986, se excluía la posibilidad de tratamiento a los suelos considerados como inadecuados, que serían las arcillas con un límite líquido > 90 y un índice de plasticidad > 65.

Aparte de las recomendaciones que aparecen en la normativa, y fuera de los límites que las mismas imponen, existe toda una experiencia en la colocación de suelos tratados con cal hidratada, y que por otro lado presenta metodologías y procesos de ejecución en ningún caso contemplados en las normas oficiales.

En principio, puede decirse que existirían 3 escuelas fundamentales para el tratamiento de los suelos arcillosos plásticos con cal hidratada:

- Escuela Americana, comandada por el Profesor Dallas Little.

Como bibliografía más importante podría citarse la publicación “Stabilization of pavement subgrades & base courses with lime”, en 1995, así como el State of the art report 5 del Transportation Research Board “Lime Stabilization”, 1987.

Dentro del primero de los manuales, debe destacarse la experiencia del comportamiento documentado de materiales tratados incluso en la década de los años 50, como puede verse en la **tabla 4.1**.

**Table 6.12. Properties of Lime Stabilized Subgrade Below IH-20 Near Dallas, Texas, Illustrating Durability and Long-term Strength Development.**

	<i>Test Data</i>	<i>PI</i>	<i>Compressive Strength psi</i>	<i>Triaxial Classification</i>
Raw Soil	1954	53	8	5.9*
Soil with 4% Lime	1955	26	90	1.0
Field Core Sample	1962	10	185	1.0
Field Core Sample	1964	9	195	1.0

\* A triaxial classification of 5.9 represents a very poor quality subgrade while a triaxial classification of 1.0 represents a very high quality base (the highest rating).

1 psi = 6,894 Pa

**Tabla 4.1.- Comportamiento a largo plazo de arcillas tratadas**

También Kelley (1977) hace una recopilación de los procesos de tratamiento en numerosas ubicaciones de los EE.UU. realizados entre 1940 y 1980, esto es, con una edad superior a los 30 años desde su colocación.

Lo más destacado de la Escuela Americana es el establecimiento de un periodo de maduración en capa abierta, esto es, que desde el mezclado de la tierra con la cal hasta su compactación, aconseja dejar transcurrir un periodo comprendido entre 24 horas y una semana.

- Escuela Inglesa, que podría considerarse comandada por Perry, MacNeil y Wilson, y que de alguna forma tiene que asumir y justificar los problemas surgidos en el tratamiento con cal en la autopista M-40, ocurridos en la primavera de 1990.

Lo más destacado de la Escuela Inglesa es el intento de controlar las condiciones de colocación en base al ensayo MCV. Sin embargo, para la práctica habitual el efecto de elevación del límite plástico que provoca la cal, hace que se produzca una aglomeración de partículas con un comportamiento similar al que tendría un suelo del lado seco, en los que como se ha demostrado, el MCV es peor indicador que el clásico ensayo Proctor.

También debe destacarse que, de acuerdo con la experiencia inglesa, el periodo de maduración recomendado por la escuela americana, no tiene una función clara, o incluso puede ser contraproducente.

- Escuela Francesa, comandada por el Profesor Huet. Se publicó en Agosto de 1972, “Recommandation pour le traitement en place des sols fins à la chaux” (SETRA-LCPC).

La construcción francesa tiene la característica de ser la que, dentro de Europa, ha realizado mayores consumos de cal en el tratamiento del terreno.

En el año 2000 se publicó la Norma de SETRA-LCPC “Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques, Guide technique”.

En esta Norma, se pone especial énfasis en la metodología, la maquinaria y los sistemas de control para la realización de tratamientos con cal u otros ligantes hidráulicos, en un formato parecido a la Norma francesa SETRA-LCPC “Réalisation des remblais et des couches de forme”, 1992.

Esta Norma por tanto, constituye más un manual de aplicación práctica que un tratado sobre el comportamiento del suelo-cal.

Como en las publicaciones anteriores, se mantiene como sistema de control la densidad Proctor y el IPI o CBR inmediato sin realizar la inmersión.

Se diferencian en cualquier caso, los tratamientos para cuerpos de terraplenes en que puede ser más importante la modificación de propiedades que el aumento de la resistencia, de los tratamientos de estabilización en capas de forma, en que es fundamental el aumento de resistencia.

En ningún caso se considera la necesidad de un período de curado (mellowing), como se indica en la Normativa Americana.

En conferencias o publicaciones, haciendo referencia a la citada norma, como la de “Le traitement des sols a la chaux vive en vue de leur utilisation en remblai et en couche de forme” de Jacques Dupraz, II Congreso Andaluz de Carreteras (2.000), se han incluido recomendaciones sobre la efectividad para el secado de arcillas empleando cal viva, las contraindicaciones a la utilización de la cal por presencia de sulfatos, materia orgánica, o elementos gruesos, etc.

Sin embargo, y a pesar de la mayor profusión en la utilización de este tipo de tratamientos en Francia, la justificación técnica de los mismos y las investigaciones sobre el comportamiento de la mezcla de suelo-cal, parece encontrarse en un estado más pobre que en la de las escuelas anteriores.

- Finalmente, la Escuela Española, habría surgido fundamentalmente a través de las experiencias en el tratamiento de las arcillas sepiolíticas y montmorilloníticas de alta plasticidad del tramo II de la M-45. Esta escuela estaría comandada por el Catedrático D. Carlos Oteo, con la colaboración y trabajo de otros especialistas, como el Profesor D. Francisco Castanedo, y el autor de esta tesis, D. Rafael Pérez Arenas, a la sazón en esa época Jefe del Departamento de Geotecnia de una de las Constructoras Adjudicatarias.

Con posterioridad a la ejecución de la M-45, se realizaron con la colaboración de los mismos equipos personales, y aprovechando estas experiencias, otra serie de obras, de las que puede destacarse:

- \* Autopista de Pinto a San Martín de la Vega para la Comunidad de Madrid
- \* Ferrocarril de Pinto a San Martín de la Vega para la Comunidad de Madrid
- \* Autovía del Camino de Santiago, tramo Carrión de los Condes-Osorno, para la Comunidad de Castilla y León.
- \* Variante de Cuenca, para la Comunidad de Castilla-La Mancha.
- \* Variante Noreste de Palencia, para el Ministerio de Fomento
- \* Vías colectoras de la Radial R-3, para la empresa concesionaria de autopistas Accesos de Madrid

La metodología seguida en estas obras, que puede considerarse como innovativa de acuerdo con la práctica internacional, presenta las siguientes características:

- \* Tratamiento del terreno por la vía húmeda
- \* Porcentajes de cal hidratada muy bajos, lo que permite que el suelo tratado sea a largo plazo inerte frente a la acción de aguas selenitosas
- \* Trituración y mezclado mediante el empleo de pata de cabra y uso ocasional de arado de volteo o vertederas.

También en el III Congreso Andaluz de Carreteras, celebrado en Octubre de 2.003, ha habido publicaciones referentes a los tratamientos con cal para la reutilización de materiales plásticos o expansivos, tal y como se recoge en la bibliografía. En todos estos casos, la metodología utilizada ha sido diferente a la de las obras de la relación anterior, con porcentajes de cal superiores. Las características de esta metodología más tradicional son:

- \* Empleo de porcentajes más elevados de cal hidratada o incluso de cal viva.
- \* Trabajo por la vía seca, sobre todo una vez añadida la cal (material con textura de terrones secos).
- \* Mezclado mediante rotobator o estabilizadora.

En este estudio vamos fundamentalmente a seguir y justificar el primer método de trabajo, aunque muchos de los resultados obtenidos son aplicables independientemente del método de colocación.

Antes y durante la realización de los tratamientos de las arcillas plásticas del Tramo II de la M-45, se realizaron ensayos de laboratorio para tener en cuenta los siguientes aspectos:

- \* Efecto de la disgregación en los porcentajes de tratamiento
- \* Efecto de la helada
- \* Efecto del contenido en sulfatos,
- \* Etc.

Igualmente, durante la realización de todas estas obras, y sobre todo por pionera el Tramo II de la M-45, se realizaron tomas de muestras inalteradas en capas colocadas para su posterior endurecimiento en condiciones controladas de laboratorio y comprobación de la evolución con el tiempo de los ensayos de resistencia, hinchamiento y colapso. Debe tenerse en cuenta que de esta forma el material ensayado correspondía al grado de trituración y desmenuzamiento realmente alcanzado en la obra, y no a una granulometría teórica como la que se obtendría machacando totalmente la muestra en el laboratorio.

Como método de interpretación y control del endurecimiento del material debe citarse el empleo del penetrómetro dinámico, de acuerdo con una metodología que se expondrá en apartados posteriores.

Finalmente, para la realización de este estudio se han realizado ensayos específicos, completando los del comportamiento de terreno con contenido en sulfatos, así como la mejora que puede suponer para el tratamiento la existencia de carbonatos de deposición secundaria en el suelo a tratar.



# **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL TRATAMIENTO DE SUELO CON CAL**

## 5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL TRATAMIENTO DE SUELO CON CAL

En toda la bibliografía existente, se diferencia que al menos en el tratamiento de un suelo con cal se tendrían dos efectos:

- Un efecto, que se produciría desde el momento de la propia mezcla o después del periodo de maduración recomendado por la Escuela Americana, consistiría básicamente en la elevación del límite plástico, con lo que el comportamiento del material quedaría más próximo al de su colocación del lado seco, aunque el contenido de humedad fuera elevado.
- El otro efecto es el aumento de resistencia del suelo tratado con cal, que se debe tanto a la atracción entre las partículas, como a la formación de enlaces puzolánicos entre los silicatos y la cal.

### 5.1 Variaciones en la estructura mineralógica

De acuerdo con la bibliografía existente, y como se ha citado anteriormente, los efectos de la adición de cal sobre un suelo de naturaleza arcillosa pueden dividirse en 4 tipos de reacciones básicas:

- Cambio de cationes, que sería el proceso responsable en la modificación de propiedades de la arcilla (disminución del índice plástico).
- Floculación y aglomeración de las partículas, también proceso responsable de la modificación de las propiedades, especialmente del incremento de la granulometría aparente con reducción igualmente del índice plástico.
- Reacciones de tipo puzolánico en el que se formarían nuevos minerales por la reacción de la arcilla exterior de las partículas y la cal. Estos nuevos minerales quedarían como puentes uniendo las distintas partículas, y serían los responsables del incremento de la resistencia del material, así como de su mayor estabilidad frente al agua.
- Reacciones de carbonatación, que se presentan a largo plazo, modificándose los minerales puzolánicos o rellenándose los huecos libres con depósitos de carbonatos, lo que igualmente provoca puentes entre partículas y aumentaría las resistencias.

Desde el punto de vista mineralógico, las causas que provocan el incremento de resistencia y la mayor estabilidad frente al agua de un suelo tratado con cal, han sido estudiadas por diversos autores.

### 5.2 Variaciones en el comportamiento del material tratado

Los efectos sobre el comportamiento del suelo actuarían temporalmente en varias fases.

Según el Profesor Dallas Little, y tal y como también se incluye en el Manual “Lime Stabilization” del TRB, deben diferenciarse al menos dos fases, coincidentes con los dos efectos anteriores, a saber:

- Una primera fase de modificación de los parámetros del suelo, al aumentar su límite plástico, que es instantánea y que mejora la trabajabilidad del material, al aglomerar sus partículas y darle una textura más granular. Esta fase es la que, en la normativa inglesa, Greaves, Perry, etc., denominan como “fase de mejora-modificación”.

Igualmente, Perry et al., 1995, investigaron que el comportamiento de un suelo estabilizado con cal es completamente diferente al que presentan los suelos naturales, y que igualmente las características del suelo tratado pueden ser sensiblemente distintas a las del suelo original. Después del periodo de maduración, la relación contenido de humedad-MCV puede quedar establecida, aunque debe tenerse cuidado para asegurar que se usa únicamente el lado húmedo del gráfico, que garantice una adecuada compactación.

En el Manual “Lime Stabilization” del TRB igualmente se indica que las características de plasticidad del material varían sensiblemente con el tiempo de maduración, como puede verse en el gráfico que relaciona la retracción con el límite plástico, y que se incluye en la **figura 5.1**.

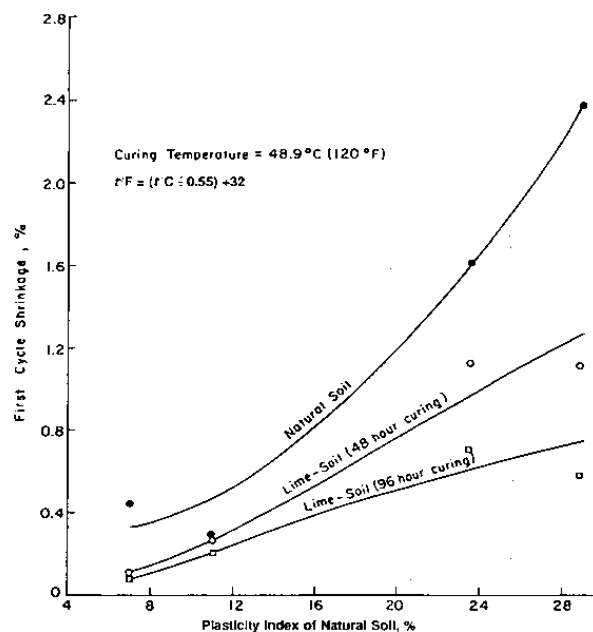


FIGURE 2-4 Influence of PI of natural soil on first-cycle shrinkage.

**Figura 5.1.- Influencia del índice de plasticidad en el porcentaje de retracción**

- Un periodo de reacciones puzolanas entre el suelo y la cal, en base a la reacción del hidróxido cálcico con los silicatos y aluminatos del terreno.

En los primeros estudios, Eades, 1962, llegó a la conclusión de que la reacción entre la cal y el terreno se debía a que el alto valor del pH producido por el hidróxido cálcico permitía la disolución de la sílice, reaccionando con el hidróxido cálcico para formar silicato cálcico. Esta reacción seguiría produciéndose mientras existiera en el terreno sílice libre e hidróxido cálcico.

Por otro lado, Diamond et al., 1964, postula que las moléculas de cal se adhieren a la superficie de las partículas de arcilla y reaccionan con otras partículas de arcilla, aglomerándolas y uniendo ambas mediante los productos de la precipitación.

Estudios posteriores, como los de Stocker, 1972, y que han sido posteriormente confirmados por microscopía electrónica, indican que el proceso puede ser distinto en el sentido de que el hidróxido cálcico reacciona directamente con los bordes de los cristales arcillosos, generando un incremento de material cementante, lo que denominaríamos como fenómeno de hidratación-cristalización.

También es posible que el fenómeno se produzca, tanto a través de la disolución de la sílice, como indicaban Eades y Diamond, como por un proceso de reacción en superficie.

Los resultados del trabajo de Cabrera, 1979, con arcillas tropicales, indican que después de 7 días de curado, la resistencia se incrementa como resultado de la hidratación y la formación de compuestos cristalinos.

Aunque el primer efecto citado de modificación de propiedades siempre puede producirse, el endurecimiento y mejora debido a las reacciones puzolánicas puede no producirse en algunos suelos, a pesar de su contenido en finos dependiendo de la naturaleza de la arcilla y previsiblemente de su superficie específica.

Estos suelos han sido denominados por Thompson, 1966, como no reactivos.

Otros autores y publicaciones, como por ejemplo la Norma del LCPC “Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques”, sin embargo, diferencian un mayor número de fases en que se produce este proceso, hasta 4 fases, y que serían las siguientes:

- Una fase inicial de variación del estado de humedad del suelo
- Una fase inicial de modificación de propiedades del suelo, especialmente el aumento del límite plástico y la aglomeración de partículas disminuyendo la arcillosidad aparente.
- Una fase de endurecimiento primario, que correspondería a las reacciones químicas directas del hidróxido cálcico con los silicatos, precipitándose coloides, silico-ferro-aluminatos cálcicos con el agua libre del suelo. El tiempo de generación de ésta fase es muy variable, dependiendo de la temperatura, y en general, variará de 2 a 24 h, o incluso 48 h (para tiempos mayores, prácticamente puede asegurarse que no se producirían las reacciones, como por ejemplo ocurre en el caso de temperaturas muy bajas).

- Fase de cristalización del coloide anterior, lo que provoca la rigidización del terreno tratado y provoca lo que denominaríamos como efecto de la estabilización.
- La fase final, que comienza después de la formación de la casi totalidad de las sales hidratadas, corresponde a la formación de nuevas sales de origen puzolánico que aumentan las condiciones de resistencia del material tratado. Puede considerarse que ésta fase, únicamente puede producirse si la temperatura del terreno tratado es superior a 5° C, como ocurre en el resto de las reacciones puzolánicas.

De acuerdo con el método de Illinois de curado rápido, la máxima velocidad en la generación de estas reacciones se produce para una temperatura de 48,9°, y a partir de ahí va atenuándose hasta inhibirse para temperaturas inferiores a un límite no determinado, pero que podría fijarse ligeramente por encima del punto de congelación (de +2 a +5°).

Así, a la temperatura de 48,9°, el nivel de endurecimiento alcanzado a 48 horas sería equivalente al que se alcanzaría a 30 días con una temperatura de 18°, y puede ser del orden del que se alcanza en 90 días para temperaturas comprendidas entre 10 y 15°.

- Finalmente, la tercera fase sería la de la formación de uniones entre partículas de tipo puzolánico a través del crecimiento de coloides, que aumentarán la cementación entre partículas y por tanto la resistencia del material.

Este fenómeno empezaría a producirse solapándose con el final de la fase anterior y dura años, con una atenuación de tipo exponencial.

Así, de acuerdo con las experiencias americanas, sobre terrenos tratados en la década de los años 60, y de acuerdo con nuestras propias experiencias en periodos más cortos, se tendría:

- \* Salvo que existan componentes secundarios en el suelo nocivos para la reacción de la arcilla con la cal, la resistencia a un año va a duplicar normalmente la alcanzada a 30 días.
- \* La resistencia final que, de acuerdo con la experiencia acumulada, puede estimarse en torno a 30 años, puede ser superior en un 50% a la alcanzada en el primer año.

Por tanto, salvo que existan elementos nocivos de reacción tardía, el fenómeno del tratamiento con cal hidratada va a producir una garantía de permanencia en el material, cuyas propiedades van siempre a ir mejorando según el transcurso del tiempo.

Debemos recordar que la mayor estructura realizada con suelo que se conserva de la antigüedad, que es la muralla china, fue realizada con este tipo de materiales tratados, así como los cimientos de las losas de las calzadas romanas.

### 5.3 Determinación del porcentaje de tratamiento

#### 5.3.1 Generalidades

Como se ha citado en los puntos anteriores, el efecto del tratamiento de cal sobre un suelo puede cumplir los siguientes objetivos:

- Mejorar la trabajabilidad del material, permitiendo que se realice su compactación con una humedad mayor de la que permitiría el suelo sin tratar.

*Este sería el caso de los suelos cuya humedad se encuentre claramente por encima de la humedad Proctor, tal y como se produce en los recubrimientos arcillosos de las zonas húmedas del norte de España. Aunque para estos casos es mayor la efectividad de la cal viva, ya que produce además una desecación del propio suelo al necesitar las moléculas de agua para su hidratación, este efecto también se obtiene con la cal hidratada, aunque en menor escala y por tanto pudiendo necesitar mayores porcentajes.*

- Reducción de la expansividad de un suelo. Como es sabido, los suelos más expansivos presentan en su composición mineralógica la presencia de minerales arcillosos de tipo montmorillonítico, que dan a esta arcilla dentro del gráfico de plasticidad de Casagrande un elevado límite líquido e índice de plasticidad (quedan por encima de la línea A).

Por el contrario, otros suelos arcillosos de expansividad muy inferior, como son los que presentan minerales arcillosos de tipo sepiolítico, presentan igualmente un elevado límite líquido, pero su límite plástico es también alto, con lo que su índice de plasticidad es más bajo y quedan por debajo de la línea A dentro del gráfico de plasticidad de Casagrande.

Debido a la propia actuación de la cal, igual que en la modificación inicial de propiedades se incrementa el límite plástico, y también a otros factores de estabilización de las superficies de las partículas arcillosas al quedar rodeadas por hidróxido cálcico, se reduce la expansividad de los suelos tratados con cal.

- Limitación del riesgo de colapso. Algunos materiales, sobre todo si están colocados del lado seco y formados por partículas homométricas, pueden presentar riesgo de colapso por bifurcación, esto es un incremento de los asentamientos al producirse su saturación o incluso un incremento de su humedad.

Debido a la existencia de enlaces entre partículas, este efecto puede ser evitado mediante el tratamiento de cal en algunos casos, pero siempre que se confirme con ensayos, ya que los materiales normalmente colapsables como los suelos limosos, son en general no reactivos frente al hidróxido cálcico.

Evidentemente, la metodología para determinar el porcentaje de tratamiento de cal, **debe ser la realización de ensayos, comprobando la evolución de la propiedad del parámetro que interese modificar, con el tiempo, el contenido en cal y el contenido en agua.**

Del párrafo anterior deducimos que las reacciones que deben producirse son entre 3 elementos, ya que debe agregarse también el agua que facilite la disolución del hidróxido cálcico y que pueda rodear a todas las partículas arcillosas.

En base a los resultados de estos ensayos, podría establecerse cuál es el porcentaje de tratamiento más adecuado, **según ensayos de laboratorio**, y que luego debe incrementarse en un 0,5% para su aplicación a la obra, ya que siempre hay variaciones porcentuales debidas al extendido y modificación del aglomerante en obra. Este incremento del porcentaje viene reflejado en la Norma “Lime Stabilization” del Transportation Research Board.

Un problema que se plantea es que, como se ha citado anteriormente, los tiempos necesarios para que se produzcan las reacciones entre el suelo y la cal son dilatados, al menos de 28 días, lo que en muchos casos los plazos necesarios de la obra hacen inviable el empleo del tratamiento.

La solución que debe adoptarse, ya recogida en la normativa americana, y que se incluye tanto en el documento “Lime Stabilization”, como en el documento “Guidelines and guide specifications for using pozzolanic stabilized mixture (base course or subbase) and fly ash for in-place subgrade soil modification”, Task force 28 Report, AASHTO, es el procedimiento propuesto y comprobado por el departamento de Transportes del estado de Illinois, **y que establece que un tiempo de curado de 48 horas a 48,9° es equivalente al tiempo de curado en condiciones normales durante 1 mes a 18°.**

El principal problema que presenta la aplicación del método de Illinois, que a partir de este momento llamaremos método de curado acelerado, es que a temperaturas de 50° se inhibe la formación de ettringita y atapulgita, en caso de que el suelo presente sulfatos, por lo que pueden obtenerse inicialmente resistencias suficientes, pero producirse posteriormente pérdidas de resistencia o el desmoronamiento total de la muestra.

### ***5.3.2 Determinación de la composición de la muestra para su ensayo en laboratorio***

De acuerdo con el punto anterior, para la modificación o tratamiento de un suelo con cal debe comprobarse cuál es la evolución del parámetro que se quiere mejorar con distintos porcentajes de cal, hasta determinar el óptimo o mínimo necesario.

Sin embargo, en la obtención de este porcentaje deben tenerse en cuenta tres aspectos:

- La granulometría del material colocado en obra no tiene porqué ser exactamente coincidente con la que se ha efectuado los ensayos.
- La efectividad del tratamiento con cal y por tanto su porcentaje, viene relacionado con la superficie específica del material ensayado o colocado en obra, y por tanto puede presentar variaciones.

- El porcentaje de agua a añadir va a ser también función de la granulometría del material tratado, dependiendo en parte también de la superficie específica.

Por consiguiente, para que sean representativos los ensayos de laboratorio del material realmente colocado en obra, deberán cumplirse una de las dos siguientes condiciones:

- Que se tenga la misma granulometría en el material colocado en obra que en el material ensayado.

*Esto puede conseguirse en los ensayos de control o contraste, para los que siempre debe utilizarse material procedente de las tongadas ejecutadas e inmediatamente trasladadas al laboratorio, para realizar en éste únicamente la preparación de probetas (esto es, el material que se lleva a laboratorio está ya tratado con cal, rectificado en humedad, y disgregado).*

- Que se considere que la efectividad del aglomerante puede relacionarse con un porcentaje de la granulometría del material, que excluye a los elementos superiores a un tamaño determinado.

De acuerdo con la nomenclatura internacional, este material más fino se denomina “**Binder**” y sería el que se ensayaría en laboratorio, fijándose los porcentajes de obra en función del contenido en Binder en las tongadas colocadas.

Esto es, la estructura realmente colocada en obra sería un margaplén de terrones que pueden considerarse inertes, envueltos por una matriz o binder del suelo tratado con cal, y por tanto el porcentaje de tratamiento debe referirse únicamente al porcentaje de esta matriz, y no al total del material colocado.

En la Normativa Americana, se considera como binder el material que pasa por el tamiz # 40 ASTM, esto es menor de 0,42 mm. En la Publicación de Morilla sobre la variante de Játiva, y por facilidad de control, incluye dentro del concepto de matriz, todo el material que pasa por el tamiz # 10 ASTM, esto es, menor de 2 mm. En las obras de la M-45 Tramo II, Autovía y Ferrocarril de Pinto a San Martín de la Vega, etc., se utilizó como tamiz de corte para el binder el nº 4 ASTM, esto es tamaño menor de 4,75 mm (equivalente al tamiz 5 UNE).

Las ventajas fundamentales de la elección del tamiz nº 4 ASTM como tamiz de corte para el binder serían las siguientes:

- Para la realización de ensayos en el molde Miniproctor (probetas de 3,8 cm de diámetro y 7,6 cm de altura, ó 5 cm de diámetro y 10 cm de altura), el material utilizado es el que pasa por el tamiz nº 4 ASTM.
- Puede controlarse en obra, de forma suficientemente aproximada, en las tongadas recién colocadas, cuál es el grado de disgregación de tamaños inferiores a 5 mm, realizando un secado con secador y con preparación manual de la muestra.



*Por consiguiente, se recomienda en principio que se utilice como “binder” o material de matriz el que pase por el tamiz n° 4 ASTM ó n° 5 UNE.*

*En el artículo 510 del PG-3, 2004 se considera para controlar la disgregación el porcentaje de material que pasa por el tamiz UNE 5 mm, como se ve muy similar al considerado en las recomendaciones anteriores.*

#### **5.4 Maduración**

Como se ha citado anteriormente, únicamente las recomendaciones americanas contemplan la necesidad de la maduración o período en el que el terreno tratado debe permanecer abierto y sin compactar para permitir mejorar la utilidad del tratamiento. Sobre la necesidad y conveniencia de este proceso, hay claras discrepancias, ya que por similitud con los tratamientos con cenizas, la movilización del material tratado con posterioridad a la adición de la cal puede provocar rotura de enlaces ya creados, y por tanto reducir la resistencia final que se alcance.

Los defensores del periodo de maduración aducen que mediante éste se garantiza por efecto de secado de la cal una mayor disgregación natural de las arcillas preconsolidadas, ya que las mismas superficialmente desecadas y expuestas al aire se fisuran naturalmente al alcanzar humedades que pueden ser inferiores al límite de retracción.

En algunos casos, se recomiendan métodos intermedios como es el de realizar una maduración con parte del porcentaje de la cal (cuya misión entonces podría ser únicamente la de facilitar la formación de fisuras en la arcilla preconsolidada, y por tanto su disgregación) y un tratamiento posterior con cal y agua, sobre el material disgregado y que sería al que podría deberse el mayor porcentaje de la resistencia alcanzada.

En cualquier caso, dejar la estructura abierta del suelo a colocar durante la maduración sólo sería posible en el caso de climas muy secos (como los estados sureños de Estados Unidos, en donde es mayor la utilización de suelos tratados con cal) y prácticamente inviable en el caso de climas húmedos (como sería el caso del Reino Unido, en donde aparece en las publicaciones donde se cuestiona más la necesidad y conveniencia del periodo de maduración).

#### **5.5 Humedad de la mezcla**

Dado que para la reacción entre la cal y las arcillas es necesaria la presencia de agua, y estas reacciones vienen desarrollándose posteriormente durante un amplio tiempo después de colocadas las capas, no es evidente ni está científicamente justificado que la humedad de colocación deba corresponder a la óptima del Proctor.

Es evidentemente cierto, por las experiencias acumuladas, que con humedades ligeramente inferiores a la óptima del Proctor, y por tanto permitiendo el trabajo de la maquinaria habitual por la vía seca, los resultados que se han obtenido han sido aceptables.

Sin embargo, igualmente aparecen en la bibliografía casos en que se han alcanzado resistencias suficientes con menores porcentajes de cal y humedades claramente superiores a la óptima Proctor, lo que obligaba a la disposición de la maquinaria tradicional de la vía húmeda, básicamente fundamentada en el empleo de la pata de cabra. También es cierto que las máquinas rozadoras de eje horizontal, denominadas como rotobator o estabilizadoras, no pueden trabajar en el caso de vía húmeda ya que se embota la maquinaria, lo que obliga a otros medios de disgregación y mezcla.

En base a esto, por tanto, otro punto a analizar sobre la realización de estas mezclas es el porcentaje de humedad, pero siempre considerando la importancia que tiene el mismo en el proceso de puesta en obra, ya que va a modificar totalmente la maquinaria de mezclado y la de compactación.

### **5.6 Método de disgregación y mezcla**

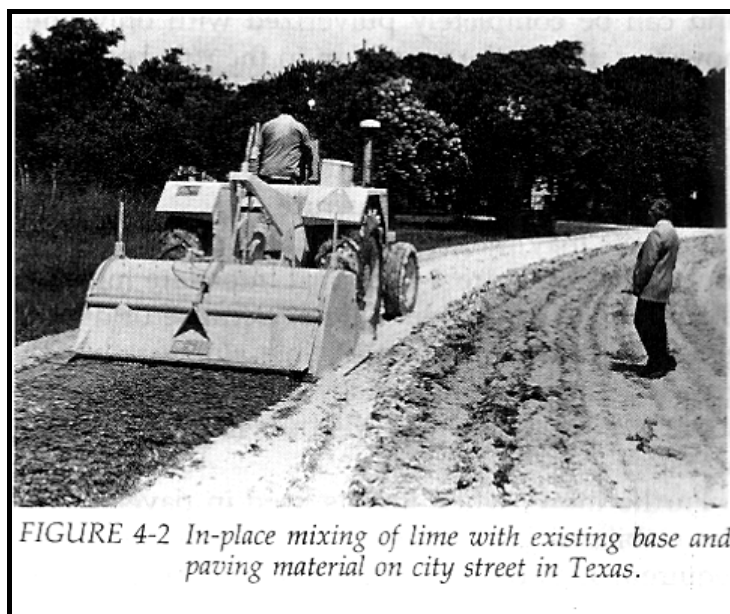
En el material a tratar, debe utilizarse una maquinaria específica para garantizar la disgregación de los terrones del suelo y su mezcla íntima con la cal aportada y el agua.

La matriz del material disgregado, considerando el tamaño de corte especificado sería el denominado binder (en la normativa del estado de Texas se considera la # 40 ASTM, esto es 0,42 mm, mientras que en nuestras recomendaciones el tamaño de corte varía entre la # 10 ASTM, de 2 mm de apertura, y la # 4 ASTM, de 4,76 mm de apertura).

El porcentaje de binder alcanzado debe estar fijado en Pliego, o el procedimiento de ejecución del material tratado, debiendo siempre contarse con el suficiente material para que se garantice que pueden envolverse los elementos más gruesos, limitando la porosidad al aire.

Para conseguir la disgregación y mezcla, se tienen dos posibilidades de maquinaria, y que son:

- **Rozadoras de eje horizontal, también conocidas como rotobator y también estabilizadoras, que pueden verse en las fotos 5.1 y 5.2.**



**Foto 5.1 – Vista de un rotobator (tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)**



**Foto 5.2 - Estabilizadora**

Son máquinas que llevan un eje delantero al que van acopladas las picas para el rozado de suelos, como puede verse en la **foto 5.3**.



**Foto 5.3 – Vista de las picas del eje de rozado de una estabilizadora**

Las estabilizadoras además permiten la incorporación de agua o lechada en la zona del mismo eje, con lo que se realizaría al mismo tiempo la disgregación y el mezclado con el ligante y el agua.

- **Utilización de pata de cabra como elemento de disgregación y mezcla, y arado de volteo, grada de rejas o vertederas para la remoción de la tongada.**

Este sistema, denominado en las recomendaciones americanas (ver por ejemplo “Stabilization of pavement subgrades & base courses with lime”, Dallas Little, 1.995) como método del arado (“plow”), se recomienda en las mismas únicamente para tratamientos groseros, en que no es obligado garantizar una gran homogeneidad o calidad.



**Foto 5.4 – Arado para espesor de tongada de 45 cm  
(tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)**



De mayor garantía respecto al volteo de la tongada que el arado, es la grada de rejas o vertedera, que se representa en la **foto 5.5**.



**Foto 5.5 – Grada de rejas**

También existe una grada de discos, utilizada normalmente en la agricultura para deshacer el encostramiento superficial del terreno por efecto de la desecación, y que puede verse en la **foto 5.6**.



**Foto 5.6 – Vista de una grada de discos (tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)**

Evidentemente, estas serían las exigencias para un material colocado en el cuerpo del terraplén, en que no es necesario poder garantizar la misma homogeneidad y grado de mejora con el tratamiento que se tendría en el caso de una explanada mejorada o de las capas inferiores de la estructura del firme.

La mejora que supone la introducción de la pata de cabra, ya reseñado en las publicaciones americanas, como puede verse en la **foto 5.7**, es que permite la disgregación y el mezclado de los centímetros superiores.



**Foto 5.7 – Pata de cabra o rodillo dentado  
(tomada de “Lime stabilization, TRB, 1987)**

Además, el empleo de la pata de cabra permite el trabajo por la vía húmeda, esto es, con humedades muy superiores a la óptima del Proctor normal (el rotobator o estabilizadora se embota con el material del lado húmedo).

## 5.7 Estabilidad del suelo tratado

Uno de los principales problemas que presentan los suelos tratados con aglomerante es la pérdida o empeoramiento de propiedades que puede ser debido a las siguientes causas:

- Condiciones climatológicas adversas, tanto durante la construcción como durante el periodo de curado, maduración o endurecimiento.
- Existencia en el suelo de componentes secundarios, que puedan reaccionar con la cal, formando sales que puedan dañar la estructura, como la ettringita que presenta una elevada expansividad al cristalizar.
- Saturación del suelo tratado por agua que contenga sales, que puedan dañar la estructura del suelo cementado.

En los siguientes epígrafes van a analizarse tanto las experiencias publicadas sobre cada uno de estos puntos, como los ensayos realizados en esta Tesis para la comprobación de tales efectos.

### 5.7.1 *Condicionantes climáticos. Efecto de la helada*

Los procesos de modificación de propiedades, fraguado y endurecimiento de las mezclas suelo-cal, se ven afectados de forma importante por la existencia de bajas temperaturas.

Como se ve posteriormente, son escasas las experiencias reflejadas en la bibliografía, y básicamente se limitan a comprobar la modificación de la evolución del endurecimiento cuando las muestras ya curadas se someten a ciclos alternativos de helada y deshielo.

No aparece en la bibliografía ninguna recomendación específica sobre bajo qué condiciones climáticas deben interrumpirse las obras de modificación o estabilización con cal.

Sí existe una normativa más clara para el caso del empleo de otros aglomerantes, como son las cenizas activadas, especialmente las que se reflejan en la Task Force 28 Report “Guidelines and guide specifications for using pozzolanic stabilized mixture (Base Course or Subbase) and fly ash for in-place subgrade soil modification” de AASHTO-AGC-ARTBA-Joint Committee, Agosto 1990.

Dentro de la norma se considera en el apartado 2.5.3 las condiciones de durabilidad frente a ciclos de heladas-deshielos, que deben garantizarse en los suelos tratados. Se indica que existen varios procedimientos para cuantificar la resistencia frente a la helada de estas mezclas, y que son:

- \* La determinación de la resistencia residual a compresión después de ciclos de hielo-deshielo.
- \* La determinación de la resistencia residual después de la saturación al vacío.

- \* El diseño de una mezcla tal que su resistencia, una vez curada, es lo suficientemente elevada incluso para asegurar que después del paso de los ciclos de hielo-deshielo, va a superarse la resistencia mínima tolerable.

También, en el apartado 2.8 de esta publicación (periodos de ejecución), se hace referencia a la NCHRP Síntesis # 37, "Lime-fly ash-stabilized bases and subbases, 1976" que se incluye como Apéndice B.

Dentro de esta norma, se indica un procedimiento para determinar de forma sistemática la fecha de paralización de los trabajos en función de la climatología del área. Este procedimiento está basado en el concepto de resistencia residual, RS (o la resistencia del suelo tratado con cal después del paso de los ciclos de helada del primer invierno), y la resistencia mínima tolerable, MTS, o valor mínimo que debe tenerse en cualquier momento para garantizar la estabilidad de la parte construida.

El procedimiento sigue los siguientes pasos:

- Se establece una curva de curado o endurecimiento en función del tiempo, para una temperatura de 4,4° C (que corresponden a 40° F, por lo que en nuestro país podríamos utilizar el criterio de temperatura a 5°). Un ejemplo de esta curva puede verse en la **figura 5.2**, representándose en ordenadas la resistencia a compresión en libras por pie cuadrado, y en abscisas un parámetro función del tiempo de curado y su temperatura, denominado como DD, y que sería igual al número de días de curado por el incremento de temperatura por encima de 40°F.

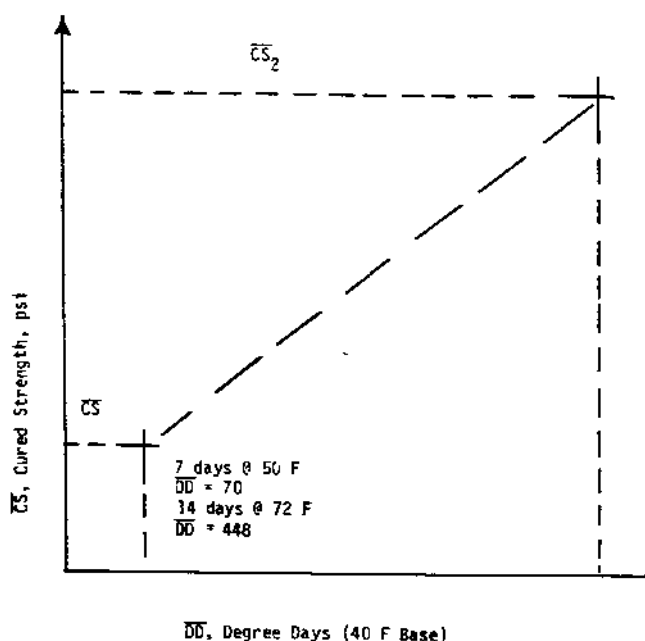


Figure B-1. Typical degree day-cured strength relationship for an LFA mix.

**Figura 5.2.- Relación entre los días a una cierta temperatura y la resistencia de curado para una mezcla de suelo tratada con cenizas**



- El valor de la resistencia mínima tolerable, MTS, será el que corresponda a las especificaciones para la utilización de materiales en cuerpo de terraplenes, capa de forma, o capas inferiores de la estructura de firme.
- La resistencia del material tratado debe ser coherente con los valores mínimos de la MTS, para garantizar una resistencia residual superior.
- De acuerdo con lo anterior, debe determinarse cuáles son los días de curado mínimos para alcanzar la resistencia de curado necesaria que garantice la suficiente resistencia residual después de la helada.
- A partir del análisis estadístico de la serie de temperaturas puede seleccionarse la fecha aproximada de interrupción de trabajos para garantizar que se cuenta con el suficiente número de días de curado de la última capa colocada antes del comienzo de los ciclos de hielo y deshielo, como se representa en la **figura 5.3**.

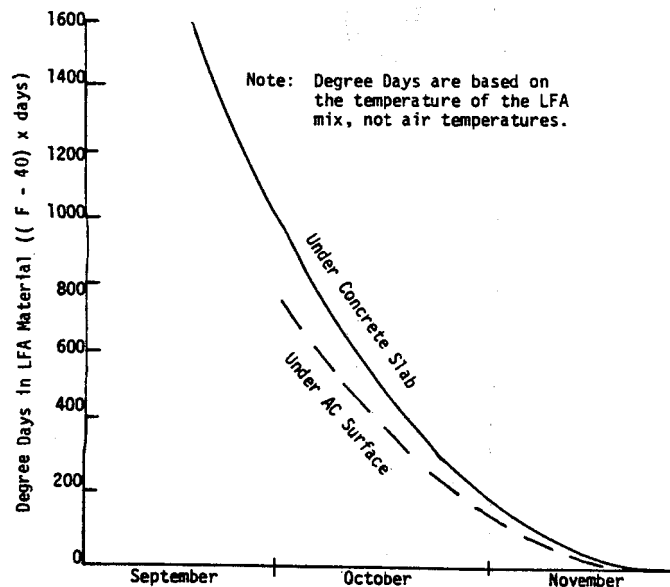


Figure B-2. Typical time-degree day relationship calculated from historical weather data.

**Figura 5.3.- Previsión, en función de la época del año, del parámetro función de la temperatura y su periodo de mantenimiento (parámetro DD, explicado en figura 5.2)**

- Ajustar la fecha de interrupción de trabajos determinada en el paso anterior, para la variabilidad en la construcción y en la evolución del curado. Por ejemplo, el ajuste recomendado para la zona de Chicago es situar la fecha de finalización 7 días antes de la que se obtendría del paso anterior.

Del procedimiento anterior parece deducirse que se interrumpe el proceso de curado cuando la temperatura es inferior a 5°. Como se ha visto, el curado y evolución de las resistencias en un suelo tratado con cal depende fundamentalmente de la temperatura de la mezcla (tal y como ocurre en los tratamientos con ceniza volante), por lo que previamente debería contarse con

unas curvas patrón que relacionen el grado de resistencia obtenido con la temperatura a que se ha producido el curado-endurecimiento o en caso contrario, **limitar el tratamiento de suelos con cal a períodos en que se asegure la ausencia de helada.**

### **5.7.2 Condicionantes climáticos. Efecto de la desecación**

Durante el periodo de curado o fase de hidratación de coloides, la falta de agua en el terreno o humedad en el ambiente, puede producir que no lleguen a alcanzarse las resistencias previstas.

Evidentemente, este problema es mucho más importante en el caso de empleo de cal viva que en el de cal hidratada, por las dos siguientes razones:

- \* La cal viva sin presencia de agua constituye un material inerte dentro del suelo, que no reacciona con el mismo, mientras que la cal hidratada, aunque quede limitada su efectividad, puede en principio actuar sobre el agua de hidratación de la arcilla.
- \* El proceso de hidratación de la cal viva es exotérmico, esto es, conduce a una elevación de la temperatura, que no se disiparía en el caso de una temperatura exterior elevada, y que favorecería la evaporación del agua añadida.

En base a eso, las distintas normativas contemplan la necesidad de que en el periodo estival se realice un curado de las mezclas de suelo tratado, que puede ser siguiendo los siguientes procesos:

- El método más sencillo para evitar la desecación de la capa es llevar un ritmo de obra lo suficientemente elevado para que, a corto plazo, quede la misma cubierta por la tongada superior.
- Otro procedimiento sencillo y económico, realizar el cierre de la capa a última hora de la tarde, de forma que la parte inicial del curado se produzca durante la noche, con menor temperatura y mayor porcentaje de humedad. Debe tenerse en cuenta que en periodo estival, en el que puede ser peligroso para la resistencia de la mezcla el efecto de la desecación, las temperaturas van a ser siempre lo suficientemente elevadas para que se alcancen suficientes resistencias en periodos muy cortos de tiempo. Este procedimiento puede combinarse con el anterior, esto es, cerrar las tongadas a última hora de la tarde, y proceder desde las primeras horas de la mañana siguiente a la colocación de nuevas tongadas.
- El siguiente método es la realización de riegos periódicos sobre las capas ya colocadas, especialmente aquéllas cuyo cierre se produzca durante las horas de la canícula.
- Otro procedimiento más caro y complejo es el tratamiento superficial de la capa colocada mediante un riego asfáltico. Evidentemente este tratamiento sólo sería viable en el caso de las capas de explanada mejorada o capas inferiores de la estructura del firme.

En las recomendaciones que aparecen en la bibliografía no se indican mayores niveles de control, salvo recomendaciones respecto a la utilización de regados o capas asfálticas.

### **5.7.3 Efecto de los sulfatos**

#### *5.7.3.1 Generalidades*

Como ya se ha citado en puntos anteriores, las mayores limitaciones en la garantía de la mejora del suelo mediante el tratamiento con cal, obedece a los siguientes puntos:

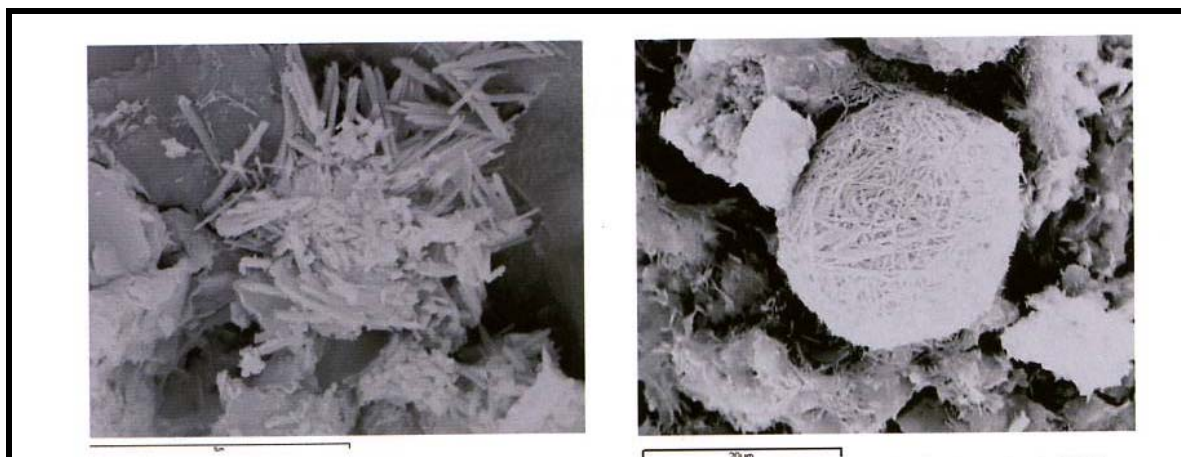
- Efecto de la temperatura sobre las reacciones puzolánicas
- Contenido en sulfatos del suelo o de materiales como las piritas que evolucionen dando lugar a sulfatos.
- Presencia futura de sulfatos solubles en el agua de saturación del suelo tratado.

En este apartado, analizamos los dos últimos epígrafes, esto es, la modificación en las condiciones de estabilidad y resistencia de la mezcla por efecto del contenido de sulfatos, tanto del propio suelo como en el agua, que posteriormente sature el material tratado.

Como es sabido, en presencia de sulfatos, la adición de cal permite la formación de sales de sulfoaluminato cálcico hidratado cristalino, de fórmula:  $C_6AS_3H_{32}$ , y que normalmente se conoce como ettringita.

La primera referencia de los graves daños que pueden producirse en el tratamiento con cal de suelos con sulfatos sería la descripción realizada por Mitchell (1986) de los graves deterioros que se produjeron en la Avda. Stewart de Nevada (EE.UU.).

La cristalización de ettringita provoca el crecimiento monodireccional de cristales con aumento de volumen y una presión de expansión muy elevada (aproximadamente 241 MPa dentro del cristal). Esto provoca la rotura del resto de las uniones entre partículas pudiendo disgregar el material previamente cementado; éste fenómeno de cristalización es totalmente diferente a las reacciones puzolánicas tradicionales, tal como la hidratación de los silicatos cálcicos (CSH) ó de los aluminatos cálcicos (CAH), que con una presión de cristal muy reducida paralizan su crecimiento cuando encuentran un obstáculo, como por ejemplo una partícula de suelo (**foto 5.8**).



**Foto 5.8 – Cristales de ettringita**

La formación de la ettringita (u otras sales calcio-sulfato-aluminato-hidrato como la taumasita) no presenta ningún problema si se produce antes de la compactación del suelo, esto es, antes de la creación de la estructura final del mismo. El mayor problema ocurre si la formación de éstas sales se produce una vez que se ha formado la estructura final del suelo, o incluso como se cita en algunos casos, muy posteriormente a la realización del terreno del relleno del suelo tratado y debido a que posteriormente el material se sature con aguas que contengan sulfatos solubles.

Como puede deducirse de los párrafos anteriores, para que exista riesgo de deterioro de la estructura del suelo tratado por la formación de sales expansivas (ettringita y taumasita) que destruyan la estructura del suelo deberán darse las siguientes condiciones:

- Si el efecto se produce debido a los componentes de sulfatos del propio suelo, debe haber alguna situación que inhiba la formación de sales expansivas durante el proceso de mezclado previo a la compactación de la capa. En este sentido, debe destacarse que la formación de ettringita se inhibe o decelera cuanto mayor sea la temperatura, pudiendo considerarse que a partir de 60° C, esta sal es inestable.
- Tanto en el caso de reacción con los sulfatos del propio suelo como con sulfatos solubles del agua de saturación posterior, debe quedar en la mezcla, cal libre que no haya reaccionado con el suelo, y que por tanto, permita su reacción con los sulfatos existentes o aportados.
- El porcentaje de sales expansivas formado debe ser suficientemente elevado para que provoque la rotura apreciable de la estructura del suelo. Esto es, la formación de sales expansivas en el entorno de un nódulo de cal que haya quedado insuficientemente mezclado no va a poder provocar nunca un daño general en la capa.

#### *5.7.3.2 Condiciones para la formación de ettringita*

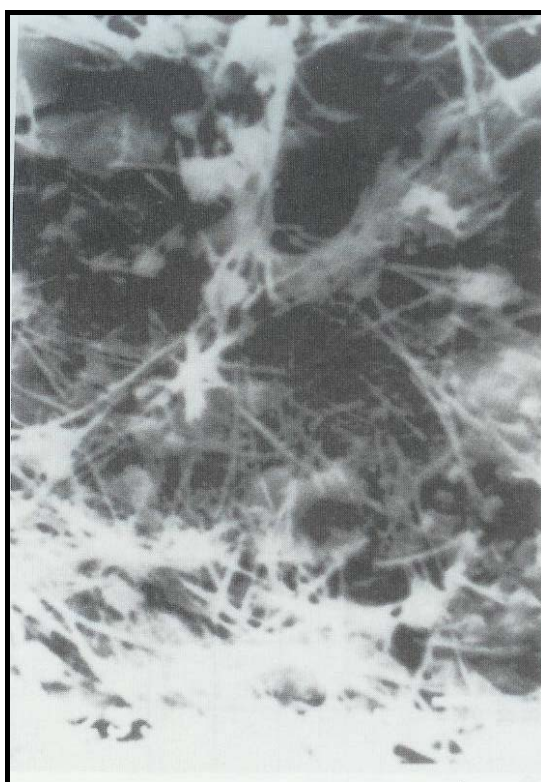
Como ya se ha dicho, la ettringita es un sulfo-aluminato cálcico hidratado cristalino.

Los estudios sobre la naturaleza y condiciones de formación de ésta sal se han desarrollado fundamentalmente para los hormigones, ya que la producción diferida de ettringita puede

provocar la ruina de una estructura. En cualquier compuesto en que se empleé cemento, bien sea un hormigón o un suelo estabilizado con el mismo, siempre se forma ettringita, siendo el problema cuando la formación de la misma, es posterior al endurecimiento del material fenómeno conocido como DEF (Delayed Ettringite Formation).

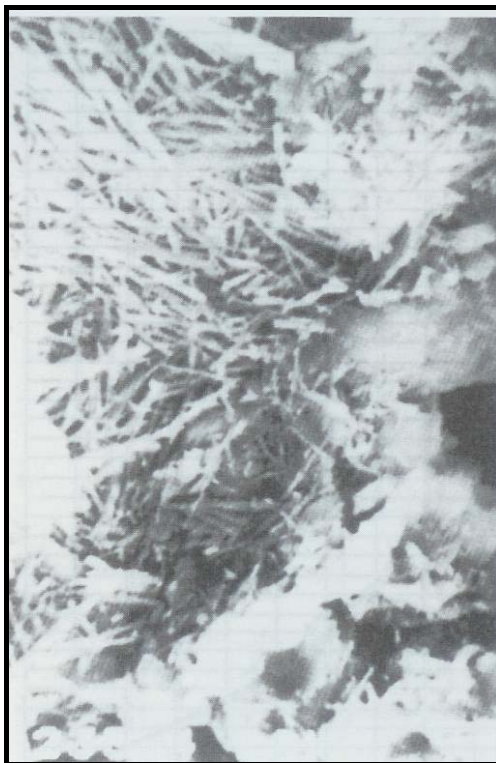
Al formarse los cristales de ettringita, se produce una estructura claramente acicular que abre y rompe la estructura de coloides que ha cementado el suelo (o en su caso la propia estructura de los hormigones).

En la **foto 5.9**, puede verse, procedente de bibliografía, una fotografía con el microscopio electrónico de barrido reflejando la existencia de elementos aciculares que serían los cristales de ettringita, y para un porcentaje de sulfatos del 0,37%.



**Foto 5.9.- Foto de estructura con presencia de ettringita**

En el caso de que aumente el contenido en sulfatos y siempre que haya cal libre y agua suficiente, el predominio de la estructura acicular puede hacerse mucho más evidente, como se ve en la **foto 5.10**, correspondiente a un porcentaje de sulfatos del 5%.



**Foto 5.10.- Estructura suelo con abundancia de ettringita**

De las distintas investigaciones llevadas a cabo fundamentalmente en el campo de los hormigones parecen que pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- Las sales de ettringita, se hacen inestables para temperaturas elevadas y en principio, disminuye drásticamente la proporción de la misma en el caso de temperaturas mayores de 90°. Igualmente, en el caso que durante su periodo de la mezcla se tengan temperaturas superiores a 60° C se impedirá la formación de éstas sales, que por tanto, pueden generarse posteriormente.

*Como se deduce de lo anterior, en el caso de suelos con contenido en sulfatos en que se realice el curado acelerado a temperaturas de 50°, se inhibe en un porcentaje elevado la formación de ettringitas, por lo que las resistencias obtenidas pueden ser muy superiores a las que se alcancen en la situación real, en que incluso puede perderse la resistencia debida a la cementación.*

- La formación de sales de ettringita queda atenuada en el caso de que el medio sea alcalino, disminuyendo drásticamente para valores del PH superiores a 11, por tanto, si en el suelo se tuviera durante el mezclado un PH muy alcalino, se impediría la formación de ettringita. En cualquier caso, en el caso de que se modificara reduciéndose el valor del pH, puede regenerarse la ettringita, en unos tiempos que posiblemente puedan ser mayores a los inicialmente previstos.
- La existencia de sodio, potasio o litio en el suelo inhibe la formación de ettringita y así de acuerdo con Jones y Berger, la ettringita se descompone en medios alcalinos que tengan más del 2,7% de óxidos de estos elementos.

Anteriormente, ya se ha citado la elevada presión de cristal asociada a la formación de ettringita con un volumen de su fase sólida representando una expansión del 120% durante su formación, sin embargo, de acuerdo con Xue, 1985, el comportamiento expansivo de la ettringita, viene determinado por la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CaO}$ . Así de acuerdo con X. Huang, cuando la concentración de los iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CaO}$  es muy baja, los cristales de ettringita serán de pequeño tamaño, sin apenas crecimiento orientado, con lo cual rellenarán los huecos dejados por la estructura del suelo sin romper las uniones o puentes entre partículas.

De acuerdo con los puntos anteriores, pueden obtenerse las siguientes conclusiones respecto al riesgo de formación de ettringita que pueda producir la rotura de los puentes y enlaces entre partículas del suelo tratado:

- La formación de ettringita primaria en el caso de suelos con sulfatos serán tanto más probable cuanto menor sea la temperatura en el momento de realización de la mezcla. Esto es, en el caso de terreno que contenga sulfatos, siempre será más favorable su colocación durante el período invernal en zonas climáticas continentales (a pesar de que durante este período estén atenuadas las reacciones puzolánicas).
- La formación de ettringita durante el proceso de mezclado vendrá impedida o dificultada por la alcalinidad del medio, con lo que en caso de a largo plazo se neutralice el suelo por efecto de la saturación con aguas ácidas o de la carbonatación de los óxidos o hidróxidos cálcicos podrá favorecerse la formación de ettringita secundaria con riesgo de rotura de la estructura del suelo.
- El empleo de suelos que presenten contenidos en sales solubles sódicas o potásicas o incluso el agregar sal comercial puede impedir la formación de ettringita, manteniéndose esta situación a largo plazo siempre y cuando no se elimine la sal. Por tanto, en zonas donde el agua de saturación sea salobre, no se tendrá riesgo de formación de ettringita.

Los rangos del contenido en sulfatos solubles a partir de los cuales puede producirse la formación de sales expansivas con deterioro del material tratado, dependen de los distintos autores, y tal y como ha recopilado Fernández, 2003, se tendría:

- Hunter (1988) identifica riesgos moderados o severos, con porcentajes del 1% al 2%
- Perrin (1992) detectó riesgos severos con 0.2-0.9%; en otros casos con 1.4-2.5%
- Mitchell y Dermatas (1992); identifican ettringita con presencia del 0.3%
- Sherwood (1992) demostró que hay pérdida de resistencia con tan solo un 0.25%.
- MacCallister y Tidwell (1997) propusieron los siguientes límites; con 0.01-0.5% el riesgo es de bajo a moderado; con 0.5-1.20% el riesgo es de moderado a serio; y con más de un 1.20% el riesgo es muy serio.
- El Manual francés de uso de cal (LCPC-2000) no recomienda estabilizar con cal si la presencia de sulfatos es superior al 1%.
- La Asociación de Fabricantes de Cal de los Estados Unidos (N.L.A. 2000) identifica:
  - \* Por debajo del 0.3% en peso de suelo, es difícil que se produzcan daños
  - \* Moderadamente arriesgado; 0.3% y 0.5%
  - \* De moderado a alto riesgo, entre 0.5 y 0.8%
  - \* Entre el 0.8 y el 1% el riesgo es alto

- \* Con más de un 1% el riesgo de que se produzcan daños es muy alto.



**EXPERIENCIAS ANTERIORES Y  
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 6. EXPERIENCIAS ANTERIORES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En el capítulo anterior se han analizado los distintos condicionantes que intervendrían en el comportamiento de un suelo tratado con cal. Esto ha obligado en algunos casos a buscar referencias de artículos y publicaciones existentes que permiten centrar la naturaleza del problema y fijar los criterios para su resolución.

En este capítulo se incluye una recopilación bibliográfica tanto de las distintas publicaciones sobre el tratamiento del suelo con cal, como el resumen de las distintas normativas existentes.

De cara a la estructura del documento, se han seguido los mismos apartados considerados en el capítulo anterior.

### 6.1 Variaciones de la estructura mineralógica

Diamond y Kinter (1965), analizaron el proceso del incremento de resistencia y la mayor estabilidad al agua por efecto de las variaciones en la mineralogía del material tratado desde el punto de vista teórico, justificando el rápido incremento de la resistencia a la formación de hidróxido cálcico aluminico por efecto de la reacción de la cal hidratada con los bordes de las partículas de arcillas. Por consiguiente, de acuerdo con estos autores, el efecto puzolánico es igualmente responsable de la modificación de las propiedades de la arcilla.

Eades y Grim, 1965, utilizaron la difracción por rayos X, así como el análisis termodiferencial para identificar las reacciones que se producen entre los suelos arcillosos y la cal.

Estos métodos de análisis permiten ver los cambios que se producen en los minerales arcillosos caolinita, illita o montmorillonita cuando se tratan con cal.

De acuerdo con estos autores, la naturaleza de las reacciones es claramente distinta según el mineral arcilloso, y así mientras que en la caolinita únicamente se produce un recubrimiento superficial de las partículas con una nueva fase en que está presente la cal, en la montmorillonita o en general en las esmectitas, se produce un reemplazamiento de los cationes de intercambio por el calcio de la propia cal.

Según estos mismos autores, para que estas reacciones puedan desarrollarse, debe haber una cantidad mínima necesaria de cal, y en cualquier caso el resultado del tratamiento va a depender de la mineralogía del suelo tratado.

Little, en 1991, utilizó las técnicas de difracción de rayos X para demostrar los cambios mineralógicos que ocurren en una arcilla con la adición de cal.

En la **figura 6.1** puede verse la modificación en la composición mineralógica definida por su difracción por rayos X en el caso de arcilla sin tratar y la misma arcilla tratada con cal.

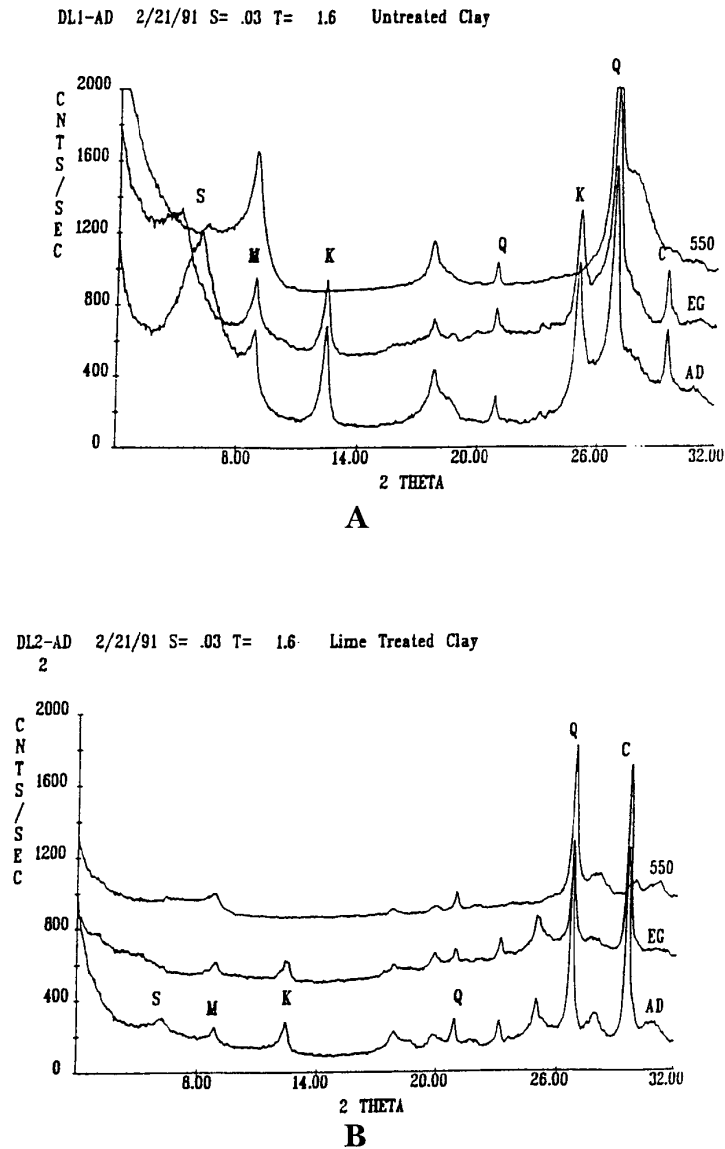


FIGURE 4.10. X-RAY DIFFRACTION (XRD) SPECTRA CAN BE USED TO PROVE THE REACTION OCCURRING BETWEEN THE LIME AND THE CLAY SURFACE. IN (A) THE XRD SPECTRA OF THE NATURAL SOIL PRODUCES AN INTENSE SMECTITE PEAKS WHILE THE PEAK ESSENTIALLY DIMENISHES UPON LIME TREATMENT (B).  
NOTE: ON EACH PLOT, AD ITENTIFIES AN AIR DRY CONDITION, EG AN ETHYLENE GYLCOL SATURATED CONDITION AND 550 DRIED TO 550°C.

#### Figura 6.1.- Diferencia de análisis por rayos x en arcilla plástica y arcilla tratada con cal.

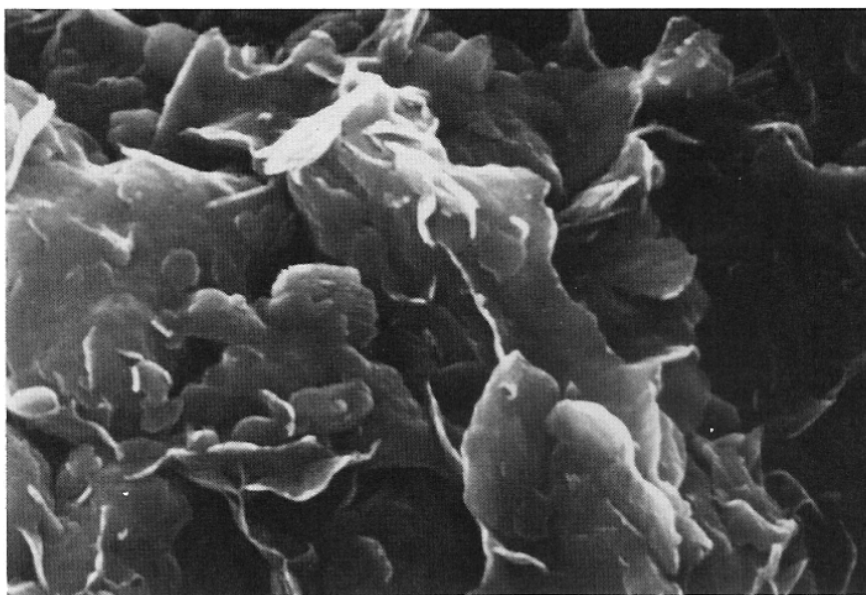
Como puede verse, el pico debido a la presencia de esmectitas queda claramente definido para una amplitud de  $10 \text{ \AA}$  en el caso de muestra desecada a  $550^\circ \text{C}$ , en  $14,6 \text{ \AA}$  para muestra secada al aire, y a  $17,7 \text{ \AA}$  para el suelo disuelto el glycol. En el caso de tratamiento con cal, la difracción por rayos X indica que el pico en la zona de esmectitas se reduce en aproximadamente un 25% respecto a la intensidad previa al tratamiento.

Little igualmente comprobó que la modificación en la difracción es debido a los cambios mineralógicos en la superficie de las partículas de arcilla, y no únicamente al recubrimiento

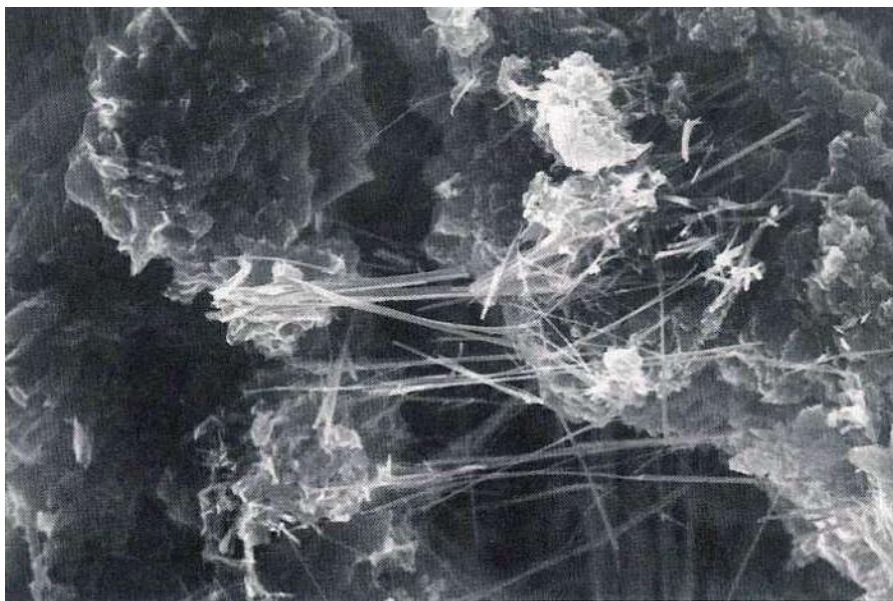
carbonatado de las partículas debido a la modificación de la estructura de la arcilla de dispersa a floculada.

La importancia de este estudio es que demuestra los cambios mineralógicos que producen las mejoras del suelo tratado.

En la **foto 6.1** puede verse el resultado de la microscopía electrónica de arcilla de Colorado (arcilla montmorillonítica procedente de la localidad de Denver), mientras que en la **foto 6.2** puede verse ese mismo material tratado con cal, y con los puentes de minerales procedentes de las reacciones puzolánicas.

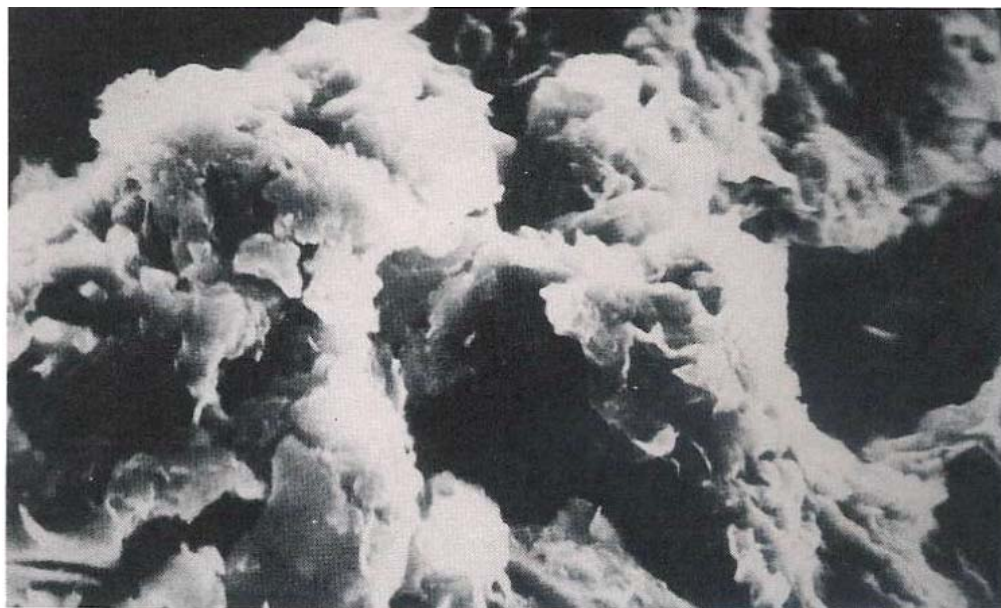


**Foto 6.1.- Estructura de arcilla montmorillonítica**

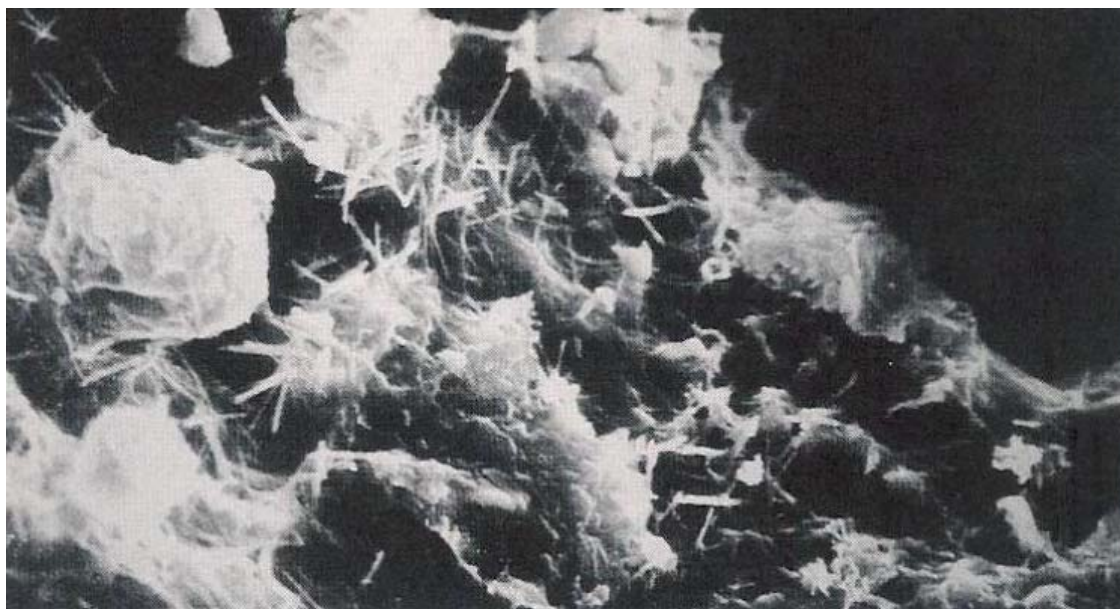


**Foto 6.2.- Estructura de arcilla montmorillonítica tratada con cal**

La intensidad y número de puentes que se forman dependen de la mineralogía de la arcilla y del tiempo de curado. En las **fotos 6.3 y 6.4** puede verse el caso de una arcilla de Arlington en Texas antes y después del tratamiento de cal y un tiempo de curado de 90 días, en que destaca la gran cantidad de puentes de origen puzolánico que se han formado entre las partículas.



**Foto 6.3.- Estructura arcilla con cal inmediatamente después del tratamiento**



**Foto 6.4.- Estructura arcilla con cal después de 90 días de curado**



Posteriormente, muchos otros autores han incluido las demostraciones mediante difracción con rayos X o microscopía electrónica de las modificaciones en la estructura de la arcilla.

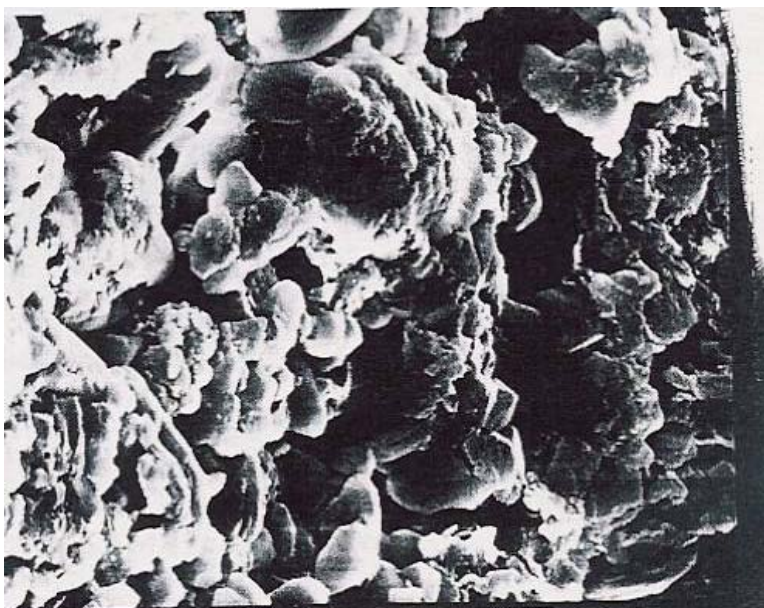
Así, Keshawarz y Dutta, de la Universidad de Hartford y Detroit, presentaron también otra comunicación sobre el tratamiento de arcillas expansivas con cal, ceniza volante o cemento.

En la **foto 6.5** puede verse la estructura del suelo sin ningún tipo de tratamiento.



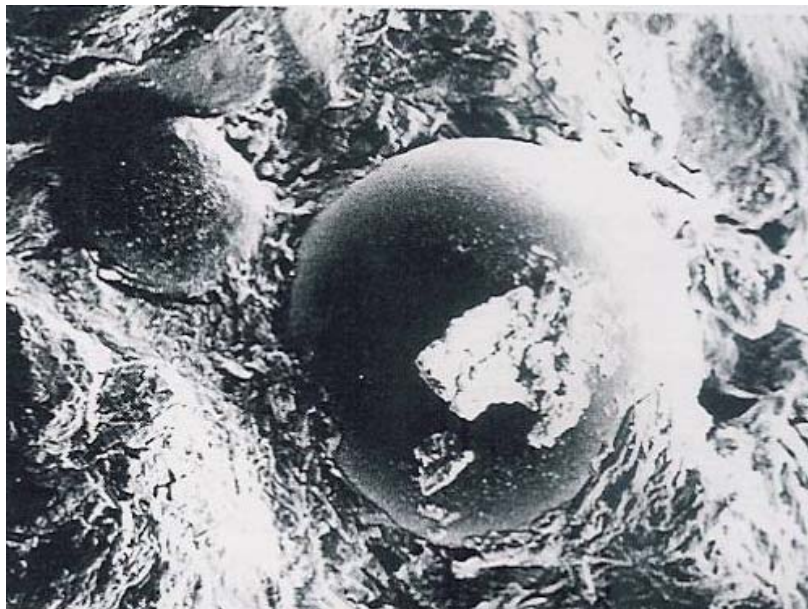
**Foto 6.5.- Estructura de arcilla no tratada**

En la **foto 6.6** puede verse este mismo material tratado con 6% de cal viva. Como puede verse, el efecto fundamental es la aglomeración de partículas, no pareciendo que se hayan desarrollado todavía minerales de origen puzolánico en intensidad apreciable.



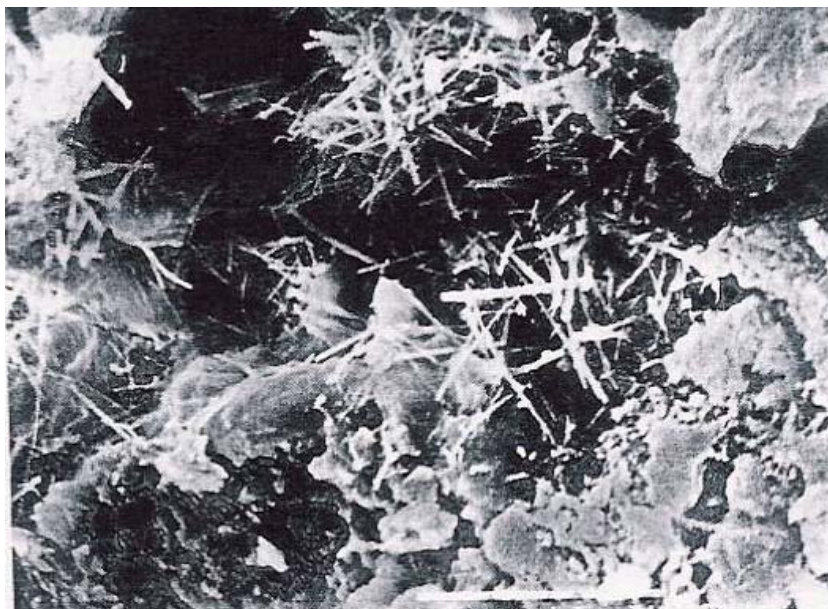
**Foto 6.6.- Estructura de arcilla tratada con cal viva y sin maduración**

En la **foto 6.7** se ve el material tratado con un 20% de ceniza volante. Como puede verse, las partículas esféricas de la ceniza están recubiertas con productos de la hidratación del material en su reacción con el suelo, y que son responsables del incremento de resistencia del suelo tratado.



**Foto 6.7.- Estructura arcilla tratada con ceniza volante**

Por último, en la **foto 6.8** puede verse el resultado del tratamiento con un 10% de cemento. Debe destacarse la abundancia de las cristalizaciones de partículas aciculares, que son responsables del incremento de resistencia en el suelo tratado.



**Foto 6.8.- Estructura de arcilla tratada con cemento**

También deben citarse los resultados publicados por A.A. Al-Rawas, de la Universidad de Qaboos del sultanato de Omán, 2.002, en que igualmente se analizan las modificaciones en la estructura de la arcilla de acuerdo con la difracción de rayos X y la microscopía electrónica.

## 6.2 Determinación del porcentaje de cal para el tratamiento

Un criterio necesario a fijar para cualquier tratamiento **es el porcentaje de ligante necesario** para conseguir las propiedades previstas del suelo tratado. Como puede verse y se han incluido seguidamente, existen internacionalmente multitud de normativas y criterios de diseño que permiten obtener el porcentaje de cal.

En algunas de estas normativas o criterios se diferencia en que el tratamiento con cal sea necesario para la modificación de propiedades o para el aumento de la resistencia, lo que sería equivalente a la estabilización. Los métodos aplicados para determinar el porcentaje de tratamiento y los ensayos de control pueden ser distintos en uno y otro caso.

### 6.2.1 Método de Eades y Grim

También denominado método del pH. Es un método de alguna forma relacionado con obtener la máxima resistencia del material.

El criterio básico que sigue este procedimiento es que el contenido en limo debe ser suficiente para alcanzar un pH de 12,4, lo que permite garantizar que se alcanza la máxima resistencia por la producción de uniones puzolánicas entre los silicatos del suelo tratados con cal.

El principal problema que tiene este método es que la cal añadida va a tener dos funciones:

- Por un lado, deberá añadirse el porcentaje de cal que deba combinarse con el suelo para formar los compuestos puzolánicos.
- Por otro lado, deberá añadirse suficiente porcentaje de cal para alcalinizar el suelo, y que permita una mayor efectividad en las reacciones puzolánicas.

Este segundo porcentaje de cal hidratada libre puede quedar remanente en el suelo, aún cuando se haya alcanzado en el mismo suficiente resistencia, y por tanto puede ser objeto de reacciones posteriores inapropiadas, como la formación de ettringitas en caso de que este suelo vaya a estar sometido a la saturación o filtración de aguas selenitosas.

El procedimiento de laboratorio se realiza según los siguientes puntos:

- *Se seca el material arcilloso al aire (puede considerarse admisible el secado a temperaturas menores de 60°), tamizándose por el tamiz n° 40 ASTM.*
- *Se cogen 5 recipientes de volumen superior a 150 cm<sup>3</sup> y tapón roscado.*



- *En cada uno de los recipientes, se agregan 20 gr del material tamizado pesados con precisión de 0,1 gr.*
- *Se añaden a cada recipiente porcentajes del 2, 3, 4, 5 y 6% de cal hidratada con precisión de pesada de 0,01 gr. Se mezcla en seco.*
- *Se añade a cada recipiente 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada y desaireada (para que esté libre de anhídrido carbónico).*
- *Se mezcla el material y el agua hasta que no haya signos de suelo seco en el fondo del recipiente. Una vez esto, se prosigue el mezclado durante un tiempo adicional de al menos 30 segundos.*
- *Se dejan las botellas durante 1 hora agitando las mismas durante 30 segundos, cada 10 minutos.*
- *Se mide el pH de cada una de las soluciones.*
- *Si el pH obtenido es superior a 12,40, el porcentaje más bajo de cal hidratada que da un pH de 12,40 es el recomendado para tratar el suelo.*

*Si el pH no queda en ninguno de los casos por debajo de 12,30 y hasta el 2% de cal da la misma lectura, el porcentaje más bajo que da el valor de 12,30 es el que se requeriría para estabilizar el suelo.*
- *Si únicamente el porcentaje de cal más elevado da un valor por encima de 12,30, deben prepararse nuevas mezclas con mayores porcentajes.*

Thompson and Eades han demostrado que para los suelos arcillosos típicos del estado de Illinois, el porcentaje de cal hidratada a utilizar obtenido según el método del pH, es prácticamente el mismo que el que daría la máxima resistencia a compresión.

Sin embargo, trabajos posteriores realizados por Harty, indican que en otro tipo de suelos de origen tropical o subtropical no es coincidente el porcentaje de cal obtenido con el método del pH con el que produce la máxima resistencia a compresión.

Los mismos autores del método Eades y Grim, reconocen que es necesaria la realización de ensayos suplementarios, ya que el método del pH sólo determina el porcentaje de cal para conseguir el máximo aprovechamiento de la capacidad puzolánica del suelo, pero en ningún caso indican cuál es el grado de mejora.

### **6.2.2 Método de California**

El método del estado de California viene reflejado en la Norma Test-373 y se basa en la determinación de la resistencia a compresión simple de muestras conteniendo varios porcentajes de cal.

El método contempla el siguiente proceso:

- Determinar el rango de porcentajes de cal
- Para cada porcentaje de cal, preparar un mínimo de 5 probetas compactadas con varios contenidos de humedad y para un tratamiento de 2 fases, esto es:
  - \* Añadir la mitad de la humedad de compactación a la mezcla seca de suelo y cal, mezclando durante un tiempo no superior a 1 minuto.
  - \* Dejar el material en cámara húmeda, a una temperatura de 18 a 21° C, durante 16 a 24 horas.
  - \* Añadir el resto del agua y mezclar hasta conseguir un material uniforme.
  - \* Compactar y determinar la humedad óptima que permite obtener la máxima densidad para cada porcentaje de cal hidratada.
- Con las humedades óptimas para cada porcentaje de cal, preparar probetas según el siguiente método:
  - \* Añadir el porcentaje de cal y mezclar en seco
  - \* Añadir todo el porcentaje de agua necesario y mezclar durante un tiempo máximo de 1 minuto
  - \* Dejar esta preparación en cámara húmeda a 18-21° durante 16-24 horas.
  - \* Compactar
- Dejar curar las probetas anteriores en cámara húmeda durante 7 días, a temperatura de 18-21°.
- Determinar la resistencia a compresión simple de las probetas así preparadas.
- De acuerdo con el procedimiento del estado de California, estas probetas tienen una altura de 10 cm y un diámetro de igualmente 10 cm (molde Proctor).

### **6.2.3 Procedimiento del estado de Illinois**

El procedimiento del estado de Illinois considera dos tipos de tratamientos para la utilización de materiales:

- Un tratamiento de estabilización, en el que la mezcla va a ser utilizada como base o subbase del pavimento.

- Un tratamiento de modificación de propiedades de material para el cuerpo del terraplén.

Aunque en principio dentro del presente estudio únicamente se incluiría el segundo caso, se incluyen seguidamente por homogeneidad con otros procedimientos, ambos epígrafes:

a) Estabilización con cal para la obtención de bases o subbases

El porcentaje de cal para el tratamiento se determina en base a los resultados de ensayos de resistencia a compresión simple. Las muestras se preparan con moldes de 2" de diámetro y 4" de altura, esto es, equivalentes al molde Miniproctor grande, de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura.

El método a seguir sería, por tanto:

- Se preparan probetas con el molde anterior, y en el rango del porcentaje de tratamiento de cal especificado, y con varios porcentajes de agua para obtener la densidad máxima de cada mezcla suelo-cal. ***No se deja periodo de maduración entre la mezcla del suelo y la cal con el agua y la compactación.***



Foto 6.9 - Preparación de la probeta

- Se dejan curar las probetas así preparadas durante 48 horas, a una temperatura de 48,9°. ***La base del procedimiento de Illinois es que han comprobado que para las mezclas de suelo-cal, un tiempo de curado de las probetas de 48 horas a 48,9°, es equivalente a un curado de un mes a 18°.***



**Foto 6.10 - Aislamiento de la muestra mediante envoltura plástica**



**Foto 6.11 - Muestras aisladas sacadas de curado en estufa**

- Se rompen las probetas con la densidad máxima para cada porcentaje de cal.



**Foto 6.12 - Rotura en prensa de las muestras**

El contenido de cal de proyecto, para capas de subbase o base, sería aquél en que posteriores incrementos del citado porcentaje no provocan incrementos significativos en la resistencia a compresión el material.

Las resistencias mínimas requeridas para las capas de subbase son de  $6,9 \text{ N/cm}^2$  y de  $103 \text{ N/cm}^2$  para la base.

Para el tratamiento en obra, los porcentajes de cal deben incrementarse entre un 0,5 y un 1% para tener en cuenta la variabilidad en la mezcla.

**b) Modificación de terreno en cuerpo de terraplén**

Para la modificación de propiedades de un material utilizado en cuerpo de terraplén, el procedimiento de Illinois se basa en el efecto de la reducción de la plasticidad (reducción del índice plástico), aunque también se indica que opcionalmente pueden realizarse ensayos CBR. El procedimiento a seguir sería:

- Establecer un rango de porcentajes de tratamiento de cal
- Mezclar el suelo con la cal y el agua, dejando un periodo de 1 hora de maduración antes de proceder a realizar los ensayos.
- Determinar el límite líquido y el límite plástico según el método tradicional.

El porcentaje de cal de proyecto puede considerarse aquel por encima del cual no se tienen apreciables reducciones en el índice de plasticidad, o bien el porcentaje que reduce el índice de plasticidad hasta un valor previamente fijado.

Opcionalmente pueden realizarse según los objetivos del tratamiento, ensayos CBR que permitan determinar la capacidad portante e hinchamiento del material tratado. El curado y la inmersión de las muestras para el CBR son opcionales, dependiendo de los objetivos del tratamiento; si es necesario, en base a estos resultados, se puede modificar el porcentaje de cal obtenido según el procedimiento del índice de plasticidad.

Como en el caso anterior, el porcentaje de cal fijado para obra se incrementa respecto al laboratorio en un 0,5 a 1% para tener en cuenta la variabilidad en el mezclado que se tiene en la obra.

### **6.2.4 Procedimiento del estado de Oklahoma**

El procedimiento prescrito en el estado de Oklahoma para la realización de suelos tratados con cal es el de Eades y Grim anteriormente expuesto. Como alternativa se indica un procedimiento basado en la reducción del índice de plasticidad, que seguidamente se expone:

- Se realizan mezclas del suelo en su humedad óptima, con porcentajes de cal del 3, 5, 7 y 10%.
- Las mezclas así realizadas se dejan madurar en cámara húmeda durante 48 horas.
- Se secan las muestras al aire o en estufa a temperatura inferior a 60°.
- Se determinan los límites de Atterberg
- Se prepara un gráfico del índice de plasticidad con el porcentaje de cal

El porcentaje de cal, que reduce el índice de plasticidad más de 2 puntos, para un incremento del mismo en un 1%, se considera que es el óptimo de la mezcla suelo-cal.

Cualquier porcentaje de cal por encima del valor óptimo puede ser recomendado y la máxima reducción del índice de plasticidad se considera de 10.

Los objetivos básicos de los procedimientos de tratamiento del estado de Oklahoma son modificar las propiedades de los suelos en cuerpo de terraplén sin ningún objetivo de aumentar su resistencia.

### **6.2.5 Procedimiento de Dakota del Sur**

Las necesidades de cal se establecen en base al procedimiento del pH igual al elaborado por Eades y Grim. Se realizan ensayos complementarios de resistencia mediante la obtención del

índice CBR con varios porcentajes de cal, y para muestras compactadas con su humedad óptima y a la densidad máxima; también se considera la posibilidad de realización de ensayos de compresión simple.

De acuerdo con este procedimiento, si el índice CBR obtenido en las mezclas es de 3 ó 4 veces mayor que el CBR obtenido en los materiales sin estabilizar, se consideran de calidad adecuada para su uso en capas de explanada. Igualmente, el hinchamiento debe ser menor del 1% después de 30 ciclos de helada-deshielo, y mantener una resistencia de al menos el 75% del CBR inicial.

Las muestras preparadas para el CBR no llevan más periodo de curado que las 96 horas de inmersión en agua.

### **6.2.6 Procedimiento del estado de Texas**

El procedimiento elaborado por el departamento de Autovías y Transporte Público del estado de Texas, está basado en la determinación de la resistencia a compresión simple, y establece una resistencia mínima de 69 N/cm<sup>2</sup> para el empleo en la base, y de 34,5 N/cm<sup>2</sup> para la utilización en la subbase.

Sin embargo, y probablemente debido a que en todo el estado la composición mineralógica de los suelos arcillosos sea similar, se establecen en este procedimiento unos porcentajes de tratamiento a comprobar en cada caso con probetas de mezcla de suelo-cal.

En la **figura 6.2** pueden verse las recomendaciones de porcentaje de cal para la estabilización de subbases y bases, según el método del estado de Texas, basado en la plasticidad del material que pasa por el tamiz # 40 ASTM.

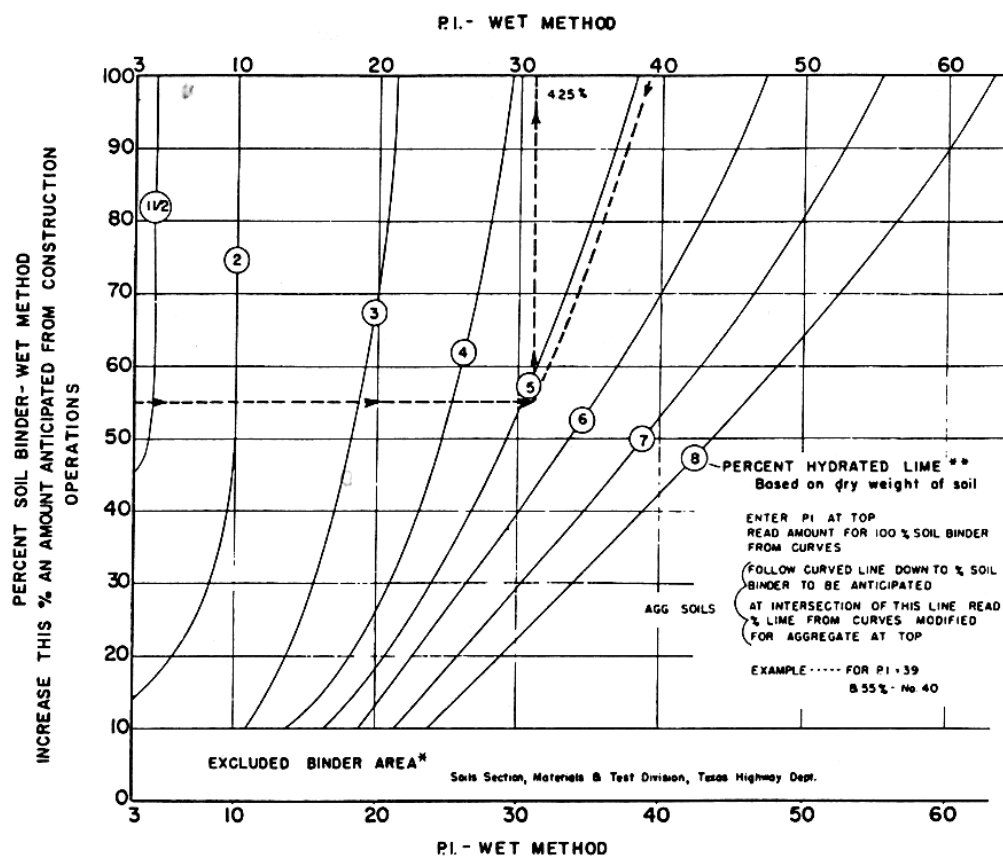


FIGURE 3-1 Recommended amounts of lime for stabilization of subgrades and bases.

**Figura 6.2.- Recomendaciones de dotación de cal hidratada para el tratamiento de suelos arcillosos en subbases y bases en función del índice de plasticidad de la arcilla (abscisas) y del porcentaje de binder o material que pasa por el tamiz # 40**

Por consiguiente, el procedimiento incluiría la realización de los siguientes puntos:

- En base al porcentaje de material que pasa por el tamiz # 40 ASTM y su índice plástico, puede obtenerse el porcentaje de cal hidratada recomendado (debe tenerse en cuenta que estos porcentajes deben comprobarse mediante los correspondientes ensayos de laboratorio).

Los materiales con menos del 10% pasando por el tamiz # 40, y con índice de plasticidad menor que 3, no son estabilizables con cal, o en concreto utilizando esta figura.

El porcentaje de cal se refiere a cal hidratada pura, con más del 90% de hidróxidos de calcio y magnesio, y más del 85% que pase por el tamiz # 200 ASTM.

Los porcentajes obtenidos corresponden a la estabilización de bases y subbases, en las que se tiene en cuenta los efectos del endurecimiento a largo plazo. Si se quiere obtener únicamente resultados satisfactorios a corto plazo, puede ser suficiente con la mitad del porcentaje obtenido del gráfico.



- La humedad óptima y densidad seca máxima se determinan de acuerdo con el procedimiento del Proctor normal.
- Las probetas a realizar tienen 6" de pulgadas y 8" de altura, y corresponden al molde del Proctor modificado.
- Las muestras se curarán de acuerdo con el siguiente proceso:
  - \* Se permite que las muestras se enfríen hasta la temperatura ambiente.
  - \* Se desmoldan y dejan secar a una temperatura no superior a 60° durante al menos 6 horas, o hasta que se haya perdido de 1/3 a la mitad de la humedad de compactación.
  - \* Se dejan enfriar durante 8 horas en temperatura ambiente.
  - \* Se dejan las muestras en cámara húmeda sujetas a capilaridad durante 10 días.
- Las muestras curadas se someten a compresión simple.

### **6.2.7 Procedimiento de Thompson**

Thompson desarrolló un procedimiento para el proyecto de mezclas en el caso de suelos modificados con cal, o en el caso de suelos estabilizados con cal.

El procedimiento para la modificación de propiedades mediante la utilización de cal se utiliza cuando el propósito es permitir la construcción y mejorar las cualidades del suelo para el cuerpo de terraplenes, bien sea aumentando el IPI o CBR instantáneo, disminuyendo la expansividad o la plasticidad; por el contrario, la estabilización con cal debe permitir el incremento de la resistencia a compresión hasta un mínimo de 34,5 N/cm<sup>2</sup>, para materiales de base y subbase y según las necesidades de las capas de firme.

En la **figura 6.3** podemos ver el organigrama del proceso considerado en el método de Thompson.

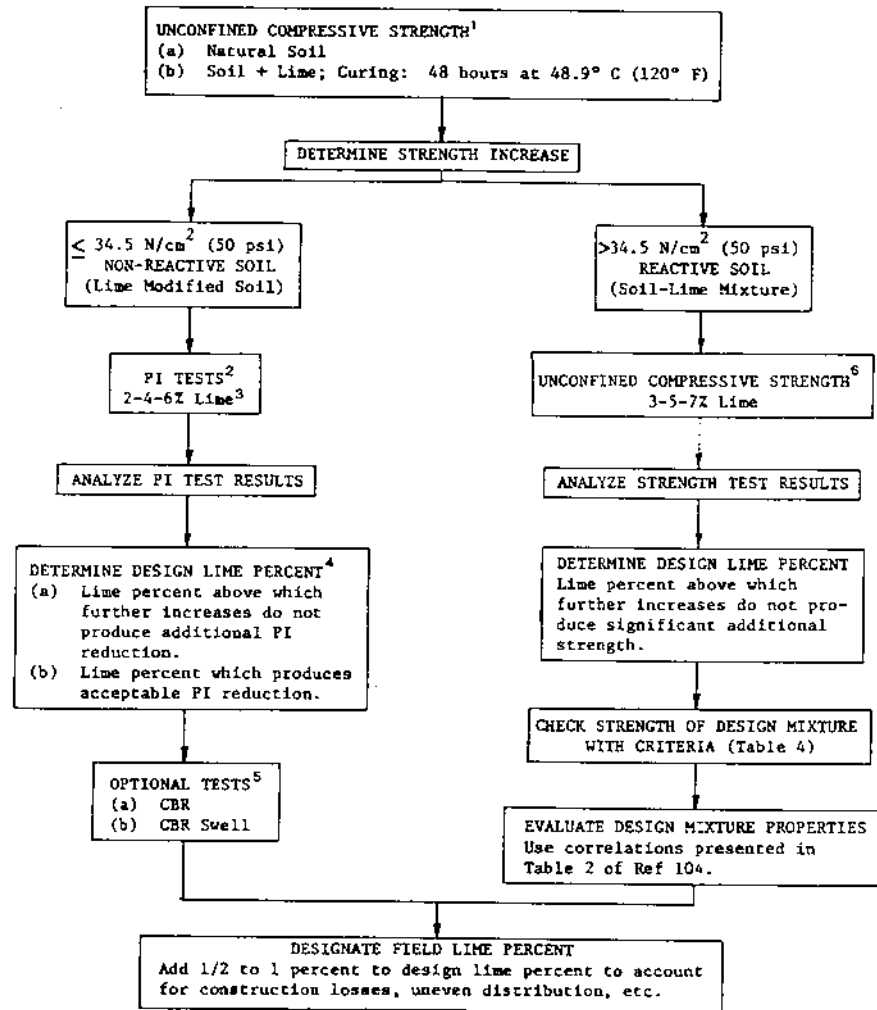


FIGURE 3-2 Proposed mixture design process for lime-treated soils.

**Figura 6.3 – Organigrama para el estudio del tratamiento de un suelo con cal**

De acuerdo con el organigrama, se tendría, según los subíndices que aparecen en el mismo:

1. Todas las muestras deben compactarse con su humedad óptima y hasta su densidad máxima.  
  
El porcentaje de cal definido en (b), puede ser el 5% ó determinarse mediante el procedimiento del pH.
2. Los ensayos de plasticidad se realizan una hora después del mezclado del suelo, el agua y la cal. La mezcla no se cura antes del ensayo.
3. En algunos casos puede ser necesario fijar intervalos de porcentaje de cal más reducidos.

4. Los criterios (a) ó (b) pueden aplicarse dependiendo del objetivo de la estabilización.
5. El curado de las muestras del CBR antes de su inmersión es opcional, dependiendo del objetivo de la estabilización; si no se reduce el hinchamiento hasta un nivel suficiente, puede ser necesaria la realización de ensayos CBR adicionales, ya que la reducción de la expansividad es de gran importancia en cuerpo de terraplén cuyas propiedades se han modificado con cal.
6. Las muestras se han compactado a su máxima densidad con su humedad óptima. Más valores o distintos porcentajes de cal pueden ser necesarios en algunos suelos. Una estimación del porcentaje óptimo de cal puede obtenerse aplicando el método del pH.

Los criterios de resistencia a exigir para los suelos tratados con cal, pueden resumirse en la **tabla 6.1**.

TABLE 3-1 Tentative Soil-Lime Mixture Compressive Strength Requirements

Anticipated Use	Residual Strength Requirement (psi) <sup>a</sup>	Strength Requirements for Various Anticipated Service Conditions <sup>b</sup>			
		Extended Soaking for 8 days (psi)	Cyclic Freeze-Thaw <sup>c</sup>		
			3 Cycles (psi)	7 Cycles (psi)	10 Cycles (psi)
Modified Subgrade	20	50	50	90 50	120
Subbase					
Rigid pavement	20	50	50	90 50 <sup>d</sup>	120
Flexible pavement by cover thickness <sup>e</sup>					
10 in.	30	60	60	100 60 <sup>d</sup>	130
8 in.	40	70	70	100 75 <sup>d</sup>	140
5 in.	60	90	90	130 100 <sup>d</sup>	160
Base	100 <sup>f</sup>	130	130	170 150 <sup>d</sup>	200

Note: 1 psi = 0.6895 N/cm<sup>2</sup>; 1 in. = 2.5 cm.

<sup>a</sup> Minimum anticipated strength following first winter exposure.

<sup>b</sup> Strength required at termination of field curing following construction to provide adequate residual strength.

<sup>c</sup> Number of freeze-thaw cycles expected in the soil-lime layer during the first winter of service.

<sup>d</sup> Freeze-thaw strength losses based on 10 psi/cycle except for 7-cycle values indicated by superscript *d*, which were based on a previously established regression equation.

<sup>e</sup> Total pavement thickness overlying the subbase. The requirements are based on the Boussinesq stress distribution. Rigid pavement requirements apply if cemented materials are used as base courses.

<sup>f</sup> Flexural strength should be considered in thickness design.

### Tabla 6.1.- Exigencias de resistencia considerando el riesgo de helada

#### 6.2.8 Procedimiento del estado de Virginia

El procedimiento del estado de Virginia VTM-11 “Virginia Test Method for Lime Stabilization”, se basa en la resistencia a compresión de testigos curados de mezclas realizadas con distintos porcentajes de cal.

Este procedimiento puede resumirse en los siguientes puntos:

- Se preparan con el molde del Proctor normal, varias muestras con distintos porcentajes de cal, humedad óptima y densidad seca máxima.

- Los testigos son curados en recipientes estancos con humedad relativa del 100% durante 72 horas, a una temperatura de 48,9° C.
- Con los testigos, una vez curados, se realiza un ensayo de compresión simple a una velocidad de carga de 12,7 N/cm<sup>2</sup> x min.
- El criterio del estado de Virginia determina el porcentaje más adecuado de cal, basado en la relación entre el beneficio obtenido y el coste del tratamiento.

**6.2.9 Recomendaciones francesas SETRA-LCPC, Agosto 1972 (*Recommandation pour le traitement en place des sols fins à la chaux*)**

En las recomendaciones francesas se diferencia si el material tratado va a utilizarse en cuerpo de terraplén o en capa de forma.

a) Utilización de la cal para el tratamiento de suelos a utilizar en cuerpo de terraplén

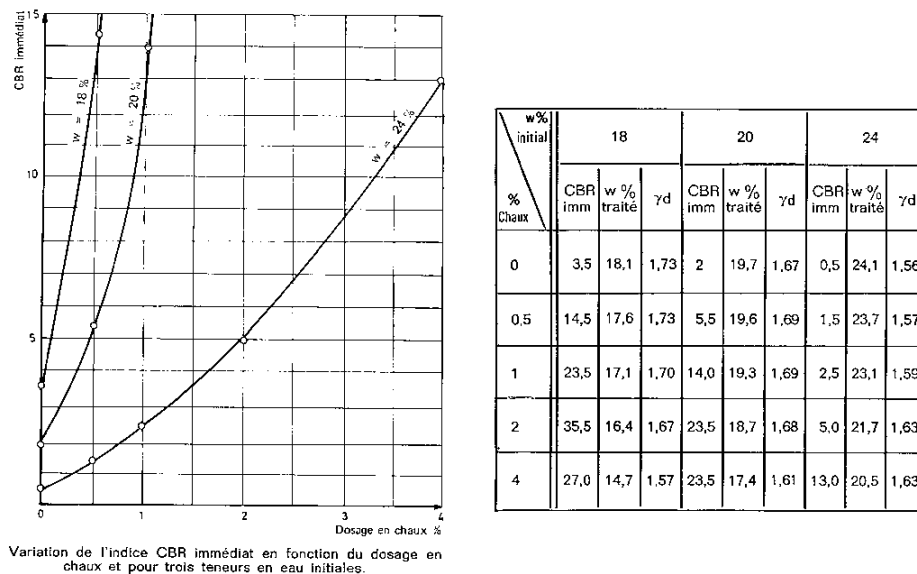
Los ensayos se basan en la medida del índice CBR inmediato o IPI de muestras preparadas con porcentajes de cal entre el 0,5 al 4%.

Los contenidos iniciales de agua se obtienen a partir de las curvas del ensayo Proctor de los materiales no tratados.

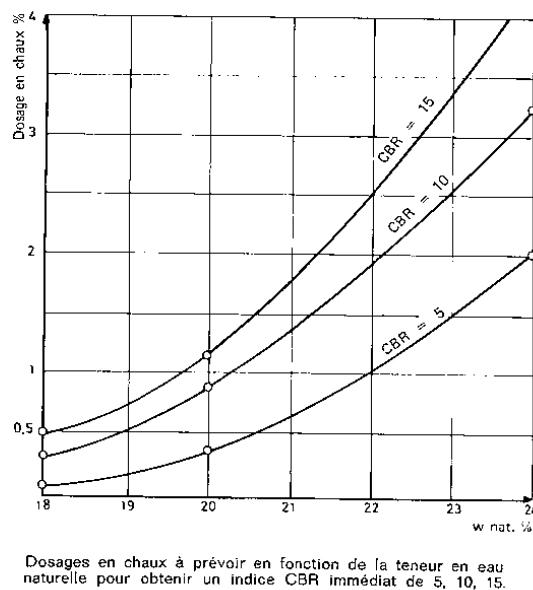
Una vez realizada la mezcla, el material se conserva en cámara húmeda durante una media hora, y posteriormente se compacta con la energía del ensayo Proctor normal.

Inmediatamente después de la compactación, se realiza el ensayo CBR.

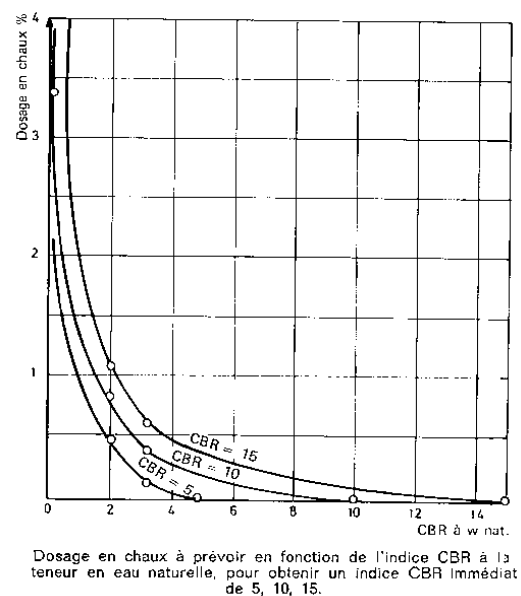
En las **figuras 6.4, 6.5 y 6.6** puede verse un ejemplo de la presentación de los resultados.



**Figura 6.4 – Variación del índice CBR inmediato o IPI (sin inmersión) en función de la dosificación de cal y de la humedad**



**Figura 6.5 – Dosificación de cal necesaria en función de la humedad de compactación para obtener un índice CBR inmediato de 5, 10 y 15**



**Figura 6.6 – Dosificación de cal necesaria para obtener un índice CBR inmediato de 5, 10 y 15 en función del índice CBR del suelo sin tratar**

#### b) Caso de utilización en capa de forma

El procedimiento a seguir es similar, si bien los porcentajes a utilizar de cal son superiores, por ejemplo del 2, 4, 6 y 8% y la penetración del CBR se realiza después de la inmersión. El material mezclado se conserva durante 2 horas en la cámara húmeda, y a continuación se compacta con la energía del Proctor normal.

Las muestras compactadas se dejan en inmersión durante 4 días, antes de la realización del ensayo CBR.

**6.2.10 Recomendaciones francesas SETRA-LCPC, Versión 1997 (*Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques*)**

En esta norma igualmente se consideran distintas necesidades para los materiales tratados en cuerpo de terraplenes y para los materiales en capa de forma.

Para el caso de material en cuerpo de terraplenes es suficiente con la obtención de un IPI de 10 inmediatamente después de la compactación, y sin la inmersión, lo que correspondería a un valor del módulo  $EV_2$  de la placa de carga en el rango de 40 a 50 MPa (Dupraz, 2.000).

En el caso del tratamiento en capa de forma, deben cumplirse dos condiciones para que pueda darse por válido el mismo:

a) Condición nº 1:

Se cumplirán los dos siguientes puntos:

- El índice CBR después de una inmersión durante 4 días será superior a 20.
- El índice CBR después de una inmersión durante 4 días será superior al IPI ó equivalente del índice CBR inmediato sin inmersión.

\* El agua en que se realiza la inmersión se mantendrá a 20°

b) Condición nº 2

La resistencia a compresión del material tratado será superior a 2,5 MPa, en el periodo en que empiecen a formarse los primeros geles.

Con una buena puesta en obra, esta condición será equivalente a que se alcance un módulo  $EV_2$  de 35 MPa.

**6.2.11 Procedimiento propuesto en el Reino Unido**

Los procedimientos recomendados en el Reino Unido, son diferentes de los del resto de Europa y Estados Unidos, en base a que para la colocación de suelos cohesivos, las humedades y densidades vienen controladas por los límites de Atterberg y el índice MCV (en vez de la humedad óptima y densidad máxima del ensayo Proctor).

En principio, las especificaciones que se tendrían con la cláusula 615 de la Norma MCHW1, son:

a) Para el suelo a tratar:

- Granulometría                      100% pasando por el tamiz de 75 mm  
                                             95-100% pasando por el tamiz de 28 mm  
                                             15-100% pasando por el tamiz de 63  $\mu$
- Índice de plasticidad del suelo a tratar, al menos de 10
- Contenido orgánico del suelo a tratar, al menos inferior al 2%, aunque este valor puede superarse si se garantiza la resistencia y durabilidad necesarias.
- Contenido total en sulfatos o sulfuros, los valores máximos deben estar analizados con ensayos anteriores a la realización de la obra, de forma que se pueda garantizar que se cuenta con un índice CBR después de la inmersión y un hinchamiento aceptables. En general, no hay problemas si no se admiten contenidos en sulfatos superiores al 1%.
- MCV. Permite que se realice el paso de la maquinaria para el tratamiento. El valor del índice MCV del material excavado debe ser superior a 6.

b) Suelo tratado

- Índice MCV. Inmediatamente después de la compactación, deben obtenerse valores en el rango de 8 a 12. En este caso, el valor más alto del MCV corresponderá a la humedad óptima que garantiza que se limita el porcentaje de huecos al aire al 5%; el valor más bajo del índice MCV garantizará que se obtiene el índice CBR necesario después de la inmersión.
- Índice CBR. El índice CBR después de la mezcla de suelo y cal, después de 3 días de curado y 4 días de inmersión, será de 15 para el caso de las capas de explanada. Únicamente se considera en las normas la exigencia del CBR para las capas de explanada, no existiendo ninguna especificación para el material del cuerpo del terraplén, en el que puede adoptarse un valor razonablemente suficiente.

Como se deduce de los puntos anteriores, el proceso contemplado en la normativa del Reino Unido, puede resumirse en los siguientes puntos:

- \* Se diferencia entre tratamientos para terraplenes y para capas de explanada o inferiores de la estructura del firme (capping).
- \* Los materiales a tratar deben cumplir unas características granulométricas, de plasticidad y de índice MCV.
- \* En el material inmediatamente tratado deben exigirse igualmente unos valores del índice MCV.

- \* Para el caso de tratamiento en capas de explanada mejorada o inferiores de la superestructura del firme, se exige un índice CBR de 15 después de un periodo de 3 días de curado y 4 días de inmersión a 20°.

### 6.3 Efecto de la maduración

En principio, característico de las recomendaciones y normativas americanas es el requerimiento de un periodo **de maduración (mellowing)** entre la mezcla del terreno con la cal y el agua y su compactación. Este periodo puede variar de 24 horas a 7 días, dependiendo de la naturaleza del material a tratar y del autor o normativa considerada.

La inclusión dentro del tratamiento de un periodo de maduración empezó a realizarse a partir de las experiencias en Estados Unidos durante la década de 1.950. Thomas et al., 1965 (*en artículo de Holt del libro "Lime stabilisation"*), indican que fue necesario un periodo de maduración de 24 horas para conseguir la disgregación en una obra realizada en la década de los 50 en el estado de Missouri.

Igualmente, Hoover, 1965, en trabajos realizados en el estado de Iowa, también recomiendan periodos de maduración entre 48 y 72 horas, pero con incorporación de cal adicional justo antes de realizarse la compactación.

McDowell (1959), indican que en la mayoría de los suelos el periodo de maduración no debe ser superior a 48 horas, aunque algunos casos de arcillas preconsolidadas de alta plasticidad podrían necesitar hasta 96 horas.

La maduración es igualmente considerada dentro del PG-3, 2.000, en el que se recomienda la mezcla en dos etapas, cuando el índice de plasticidad es superior a 50, con aporte de la mitad de la dotación total de cal en cada etapa, y en la primera etapa superando la humedad óptima de compactación entre un 2 y un 10%; por tanto, en la segunda etapa se aportaría la otra mitad de la dotación de cal, así como el resto de la humedad necesaria (que no tiene por qué ser la misma que en la primera etapa, ya que en ésta se tenía exceso de humedad pero que se puede haber reducido parcialmente por exposición en la atmósfera).

El periodo de maduración se establece entre 24 y 48 horas, recomendando únicamente el cierre de la capa si hay riesgo de precipitaciones. Se indica igualmente que el periodo de maduración puede aumentarse hasta 7 días si el índice de plasticidad es superior a 50.

Por otro lado, experiencias en Gran Bretaña, reflejadas en la publicación "Lime treatment of capping layers in accordance with the current specification for highway works", de C.C. Holt y R.J. Freer-Hewish, cuestionan la necesidad de la maduración ya que no tiene ninguna justificación científica.

Así, en principio, y financiado por el Departamento de Transporte de Louisiana, y publicado por Taylor y Arman (1960), se obtuvo la conclusión, al analizar las causas del fallo de una subbase de suelo tratado con cal, que el material tratado con un periodo de maduración superior a 48 horas presentaba una resistencia muy inferior al material madurado durante menos de 48 horas.



Esta publicación hizo que Mitchell y Hooper, 1961, realizaran una investigación sobre el efecto de un periodo de maduración de 24 horas en las propiedades de una arcilla expansiva tratada con cal procedente del estado de California. Los resultados indicaban que con la maduración de 24 horas, las densidades se reducen hasta un 7,5%, las resistencias hasta un 30%, y el hinchamiento prácticamente se duplica, con respecto a las muestras compactadas inmediatamente después del mezclado.

En esta misma época, y en el Reino Unido, Dumbleton (1972) analiza el efecto de la maduración en el caso de arcillas tratadas con cal, dentro de un estudio de mayor amplitud, y concluye que la densidad del material tratado disminuye con el tiempo de maduración.

Posterioros trabajos sobre este efecto no se han realizado hasta la década de los 80. Sweeney et al. (1988 y 1989), examinaron el efecto de periodos de maduración de 1, 4 y 24 horas, en una arcilla tratada con cal procedente de Saskatchewan. De este estudio se obtuvo la conclusión de que el tiempo de maduración afectaba desfavorablemente a la resistencia del material tratado.

En base a que, como se ha citado, no existe causa científica que justifique la maduración, en la década de los 90, se realizó en la Universidad de Birmingham, un programa de investigación de 3 años. El programa investigaba inicialmente el tratamiento con cal de 4 tipos de arcilla característicos de subbases en el Reino Unido, para analizar la efectividad del tratamiento con cal de estos materiales y cómo distintos periodos de maduración afectaban a las propiedades físicas e ingenieriles del material tratado. Como investigación secundaria, se analizó también el efecto de la temperatura y de la humedad de la mezcla.

Los 4 tipos de suelo ensayados eran arcillas del Liásico inferior, arcilla de Oxford y arcilla de Londres, y margas del Keuper denominadas localmente como "Mercia Mudstone". En la tabla adjunta pueden verse las propiedades medias de estos materiales.

**Table 1 Properties of the materials tested**

Properties of material	Lower Lias Clay	Keuper Marl	Oxford Clay	London Clay
Clay content (%)	64	37	57	54
Plastic Limit (%)	25	22	28	30
1.2xPlastic Limit	30	26.4	33.6	36
Plasticity Index	27	12	25	45
Maximum Dry Density (Mg/m <sup>3</sup> )	1.595	1.827	1.534	1.583
Optimum Moisture Content (%)	21.5	16	24.2	24.3
UCS of untreated soil (unsoaked N/mm <sup>2</sup> )	0.31	0.35	0.41	0.28
Total sulphate hate content (%)	1.12	0.11	0.88	0.23

La cal utilizada para el tratamiento fue cal viva, con un porcentaje de óxido cálcico del 96%. La dosificación de la cal para cada tipo de suelo correspondía a la que daba la misma reactividad potencial para las reacciones puzolánicas (valor definido como ICL en la Norma BS 1924: parte 2ª: 1990). Las arcillas del Lías inferior de Oxford y de Londres necesitaron un 4% de adición de cal viva, mientras que sólo un 3% fue necesario en las margas del Keuper.

Se utilizaron dos sistemas de mezclado para modelizar condiciones extremas:

- En la primera de ellas, la cal viva se añadió en estado seco e inmediatamente se mezcló y añadió agua, hasta alcanzar la humedad óptima de la mezcla (no la del suelo antes de la mezcla) con el material correspondiente (debe destacarse que la humedad óptima de la misma mezcla suelo-cal se va modificando con el tiempo).
- En el segundo procedimiento, la cal viva se añadía a suelos en estados de humedad muy por encima de la óptima, del orden de 1,2 veces el límite plástico del suelo natural. Después de que se había realizado la mezcla completa, se llevaba a cabo una compactación ligera para modelizar el cierre de la capa que se realizaría in situ (no la compactación).

Las mezclas así obtenidas se colocaron en cámaras con una humedad relativa del 50% y temperaturas de 5, 10 ó 20° por un periodo de maduración de 12 horas, 24 horas, 48 horas y 96 horas.

Después del periodo de maduración, se ajustó la humedad de las mezclas a la humedad óptima y se prepararon 6 probetas para su rotura a compresión simple.

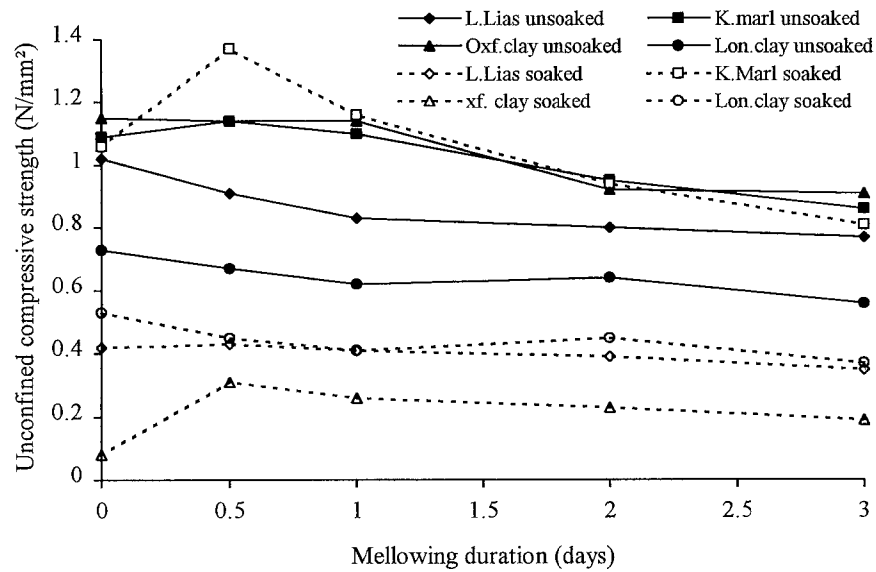
Las probetas se dejaron curar durante 7 días en cámara húmeda, a la misma temperatura en que se había realizado la maduración.

Después del curado, 3 de las muestras fueron ensayadas a compresión simple, y las otras 3 restantes fueron introducidas en agua a la misma temperatura que la de la maduración para un periodo adicional de otros 7 días, lo que permitiría también obtener la resistencia de la muestra saturada y el cambio volumétrico.

Este procedimiento se siguió también con muestras que no habían tenido ningún tiempo de maduración, para que pudiera realizarse la comparación sobre el efecto de este proceso.

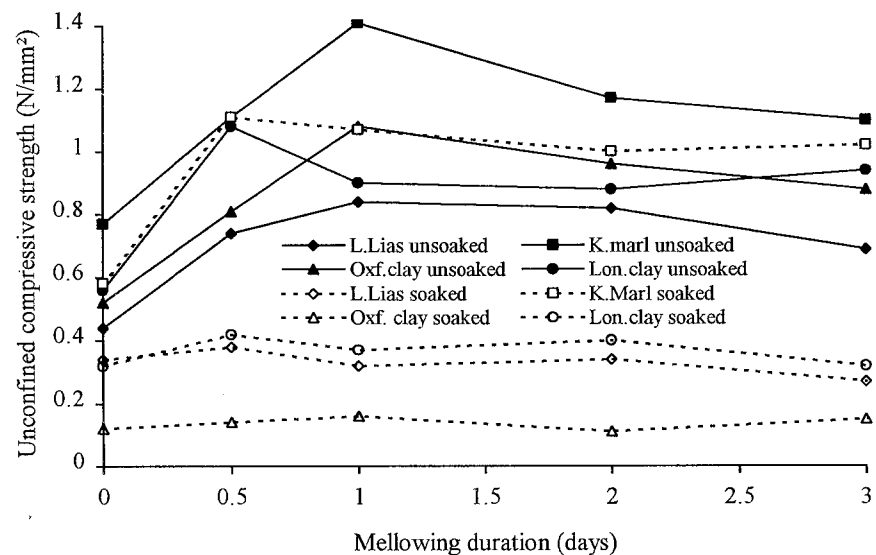
De los resultados de esta investigación se obtuvo para cada una de estas temperaturas cuál sería la variación de las propiedades según el tiempo de maduración (máxima densidad, humedad óptima, resistencia a compresión, resistencia a compresión de la probeta saturada, hinchamiento o cambio volumétrico, etc.).

De los gráficos obtenidos, incluimos en la **figura 6.7** el que representa la variación de la resistencia a compresión simple con el tiempo de maduración a una temperatura de 20° C para las muestras realizadas con mezcla de la cal en seco, y en la **figura 6.8** las que representan los resultados de las muestras con mezcla de la cal con la arcilla muy húmeda (humedad del orden de 1,2 veces el límite plástico).



**Figure 3** Changes to the unconfined compressive strength of all dry mixed soils after mellowing and curing at 20°C

**Figura 6.7 – Variación de la resistencia a compresión de las mezclas de distintos tipos de suelo con cal en seco en función del tiempo de maduración**



**Figure 4** Changes to the unconfined compressive strength of all wet mixed soils after mellowing and curing at 20°C

**Figura 6.8 - Variación de la resistencia a compresión de las mezclas de distintos tipos de suelo con cal con porcentajes elevados de humedad en función del tiempo de maduración**

También en la **figura 6.9** se ha representado el cambio de volumen debido a la inmersión, en función del periodo de maduración en una temperatura de 20° C, y para los distintos tipos de arcillas y forma de mezcla (en seco o en húmedo).

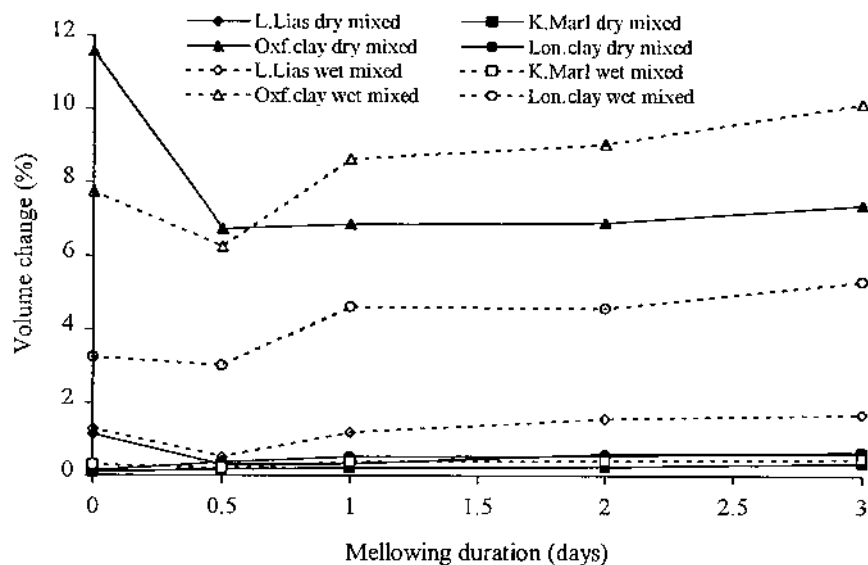


Figure 5 Volume changes to all lime treated soils after soaking

**Figura 6.9 – Cambios de volumen de muestras tratadas con cal en función del tiempo de maduración**

Como puede verse, del estudio anterior se obtenían las siguientes conclusiones:

- La influencia del periodo de maduración en el valor de la resistencia a compresión es indiferente para tiempos menores de 24 horas y mezclas en seco, y favorable para el caso de mezclas en húmedo. Para periodos de maduración mayores de 24 horas la influencia es desfavorable, tanto para mezclas en seco como para mezclas en húmedo, de mayor importancia en este último caso.
- La influencia del periodo de maduración en el potencial de hinchamiento es máxima y favorable para un periodo de 12 horas, creciendo ligeramente o manteniéndose estable a partir de este tiempo.
- **Por consiguiente, en el caso de mezclas en seco parece recomendable un tiempo de maduración, para una temperatura de 20°, de al menos 12 horas sobre todo en el caso en que los objetivos del tratamiento sean reducir la expansividad.**
- **En el caso de adición de la cal sobre un suelo previamente húmedo, la máxima efectividad a 20° se consigue con un periodo de maduración de 24 horas.**
- **En cualquier caso, no hay grandes variaciones en las resistencias entre las muestras sin periodo de maduración y con una maduración igual o inferior al**

**tiempo recomendado. Por contra, para tiempos de maduración superiores a los recomendados, sí se ha observado una disminución apreciable de la resistencia.**

#### 6.4 Efecto de la humedad de la mezcla

En las recomendaciones de Estados Unidos, se contempla la colocación del material con la humedad óptima del Proctor normal o Proctor modificado.

Igualmente, en el Report 5 del TRB “Lime Stabilization”, se indica que las relaciones humedad-densidad se modifican durante la maduración y el curado, por lo que en obra debe trabajarse con la curva adecuada. Igualmente se indica que si ha empezado a producirse el curado, puede ser imposible alcanzar la densidad máxima del material antes del comienzo del mismo, pero que no es obligado alcanzar la misma, ya que la reducción en el máximo valor no es debida a una compactación insuficiente, sino al hecho de la modificación de las propiedades de la mezcla.

Por consiguiente, el control de los materiales en base a densidades y humedades, no tiene la justificación que tendría en materiales no tratados, en que es directamente asimilable una mayor densidad a una mayor resistencia y menor compresibilidad. Sin embargo, en las referencias de las normativas americanas se indica que para una mayor densidad se obtiene una mayor durabilidad y resistencia a la helada.

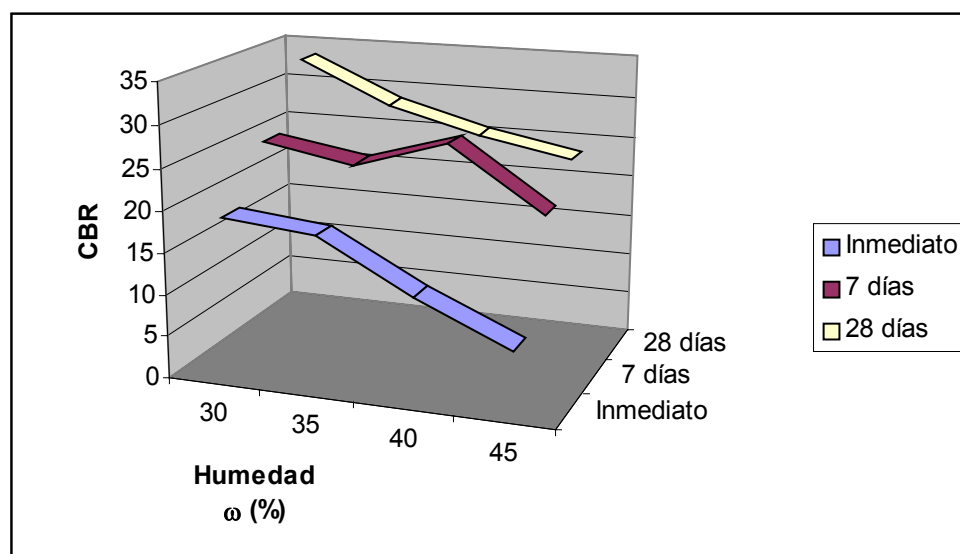
En el Reino Unido, Perry y otros del TRL (“The uses of lime in ground engineering: a review of work undertaken at the Transport Research Laboratory”, 1996), estudiaron entre otros puntos la variación de la resistencia e hinchamiento de arcilla de Londres tratada con un 2,5% de cal viva. Las probetas para ensayar se realizaron después de un periodo de maduración de 4 horas (debe tenerse en cuenta que el periodo de “maduración” de 4 horas, es el mínimo necesario para que se produzca la hidratación de la cal viva, y por tanto sería innecesario en el caso de que se hubiera empleado cal hidratada). Los resultados de estos ensayos pueden verse en la **tabla 6.2**.

**Table 5 Strength/swell data for 4 hour mellowing of London Clay treated with 2.5% SG60 quicklime**

Moisture content target (%)	Immediate CBR (%)		7 day CBR (%)		28 day CBR (%)		Air voids (%)	Swell (mm)	Time to achieve steady state (days)
	top	base	top	base	top	base			
30	20	18	23	28	22	45	8.2	4.28	13
35	17	19	21	26	22	35	5.2	2.56	13
40	12	13	24	30	21	30	2.3	1.31	23
45	7	7	14	25	22	25	0.9	0.76	17

**Tabla 6.2 – Variación del índice CBR y del entumecimiento para muestras de arcilla de Londres tratadas con un 2.5% de cal viva SG-60 y con un tiempo de maduración de 4 horas**

En la **figura 6.10** puede verse la variación del índice CBR inmediato, a 7 días y a 28 días en función del porcentaje de humedad. Como puede verse, aunque con los mayores contenidos de humedad el CBR inmediato es muy inferior, éste presenta un crecimiento con el tiempo de forma mucho más marcada que en el caso de las muestras con menor humedad.



**Figura 6.10.- Variación del índice CBR con la humedad y la maduración**

Por otro lado, la porosidad al aire es muy inferior en el caso de las muestras con mayor contenido en humedad, y **el hinchamiento mucho más reducido cuanto mayor es la humedad de las muestras**. Esto es sabido que para una arcilla expansiva colocada, el hinchamiento es tanto menor cuanto mayor sea la humedad de colocación, independientemente de que la misma haya sido tratada o no con un ligante.

La importancia de estas experiencias radica en que, trabajando del lado seco, aunque se aumente la resistencia o índice CBR de la mezcla, no se garantiza que se reduzca suficientemente el hinchamiento, con lo que para las capas de explanada y parte superior del terraplén, en que la carga de confinamiento es muy reducida, será recomendable colocar las capas con humedades por encima de la Proctor, incluso renunciando a poder obtener una mayor densidad.

### 6.5 Efecto de la trituración y el mezclado

No se ha encontrado ningún estudio donde se analicen las diferencias entre el mezclado y la trituración según se emplee pata de cabra y grada de rejas, o si se emplea rotobator o estabilizadora.

Sí aparecen reflejadas en las recomendaciones americanas ambos métodos como viables, únicamente recomendándose el rotobator en las capas de mayor exigencia de calidad.

En las recomendaciones francesas, se indica únicamente la trituración y mezclado mediante rotobator o estabilizadora.

En las recomendaciones inglesas no se ha encontrado ninguna referencia a la maquinaria de trituración y mezclado, aunque como se ha visto en apartados anteriores, sí hacen referencia al trabajo por vía húmeda, en la que es prácticamente inviable la utilización de rotobator, ya que se produce el embotamiento de las picas.

## 6.6 Estabilidad del suelo tratado

### 6.6.1 Condicionantes climáticos. Efecto de la helada

Thompson y otros (Illinois, Construction Engineering Research Laboratory), ha estudiado en laboratorio la variación de las propiedades de una mezcla suelo-cal después de estar sometida a ciclos de hielo-deshielo.

La principal conclusión del citado autor es que, aunque puede producirse una pérdida de resistencia durante los periodos de heladas alternantes, el material resuelda y recupera su resistencia durante los periodos más cálidos, especialmente si hay exceso de cal y un valor del pH suficientemente elevado.

En la **figura 6.11** puede verse un esquema de la variación de la resistencia a compresión después de ciclos de hielo y deshielo en una muestra con 2 días de curado y 1 día de inmersión (el curado se realiza a una temperatura de 48,9° C).

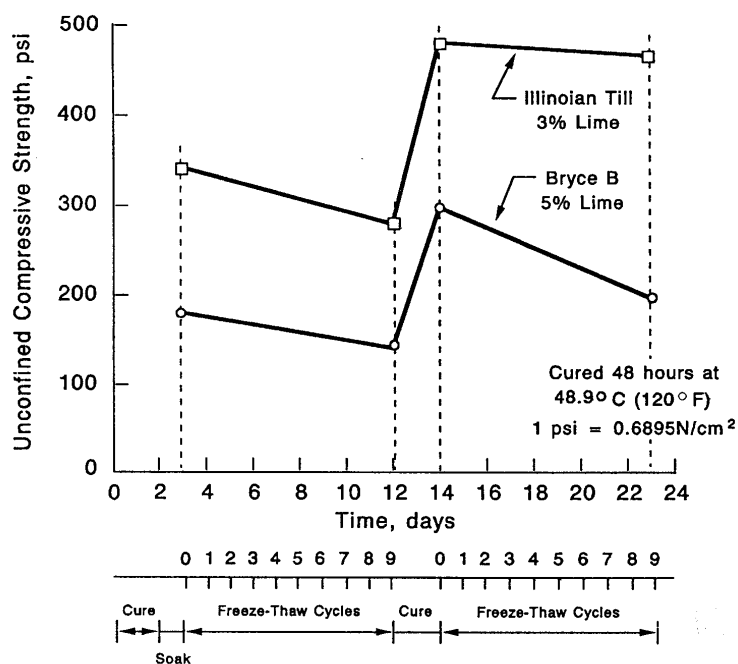


FIGURE 6.14. IF ADEQUATE LIME IS AVAILABLE, POZZOLANIC REACTION WILL CONTINUE TO OCCUR UNDER FAVORABLE CURING CONDITIONS RESULTING IN AUTOGENOUS HEALING DURING FAVORABLE SEASONS (AFTER THOMPSON AND DEMPSEY, 1969).

**Figura 6.11 – Variaciones de la resistencia a compresión de muestras curadas durante 48 horas a 48.9° (curado acelerado del método de Illinois) para distintos porcentajes de cal y sometidas a ciclos de humectación y helada**

Como puede verse, dentro de estas determinaciones no se especifica cuál es la resistencia residual que se alcanza después de los ciclos de hielo-deshielo, ni tampoco cuál sería el valor

mínimo de la resistencia a alcanzar para garantizar que después de los ciclos de hielo y deshielo se cuenta con una resistencia superior al mínimo admisible.

Por tanto, los resultados del análisis realizado por Thompson et al., tienen gran interés desde el punto de vista cualitativo, pero no permiten determinar cuantitativamente si existe alguna relación entre la resistencia residual y la inicial, relación constante o variable con el tiempo de curado de la muestra.

### **6.6.2 Condicionantes climáticos. Efecto de la desecación**

En la bibliografía consultada no se han encontrado estudios teóricos exhaustivos sobre el efecto de la desecación en el tratamiento de las arcillas con cal, sino únicamente las recomendaciones sobre el curado en caso de tiempo caluroso, bien sea mediante regados sistemáticos o incluso colocación de capas asfálticas de protección.

### **6.6.3 Efecto de los sulfatos**

#### *6.6.3.1 Referencias de daños y estudios teóricos*

En la bibliografía aparecen reflejadas diversas ocasiones en que se han producido daños importantes sobre estructuras de tierra ya construidas debido al tratamiento o estabilización con cal o cemento de suelos conteniendo sulfatos.

Ya se ha citado anteriormente la descripción realizada por Mitchell, 1986, de los daños en la Avenida Stewart de Nevada (EE.UU.).

Sin embargo, el caso de mayor importancia por daños en la plataforma debido a la presencia de sulfatos en un suelo tratado con cal ha sido el de la autovía inglesa denominada como M-40 en el Reino Unido, en un tramo de 46 Km de la M-40, entre Bamburi y la unión con la M-42, que experimentó unos desperfectos generales en todas sus explanadas por efecto achacado a la formación de la ettringita.

Los materiales atravesados en estos tramos, estaban constituidos por depósitos arcillosos del Lias inferior y medio y que hacia el norte pasaban a las series margosas del Keuper. Todos éstos materiales, habían sido catalogados como adecuados para la estabilización con cal.

Los trabajos de los distintos contratistas, se realizaron durante el verano sin que se observara ningún problema en el material tratado.

Sin embargo, durante el mes de Noviembre del año 1989, después de un período de fuertes lluvias y un descenso general de la temperatura, se observaron signos de deterioro en la plataforma de suelo estabilizado, bien sea, estando ésta al aire o cubierta por una base granular.

En otras zonas en que igualmente se había terminado la estabilización antes de Agosto de 1989, con colocación incluso de las capas de firme, se observaron en Abril de 1990, una degradación



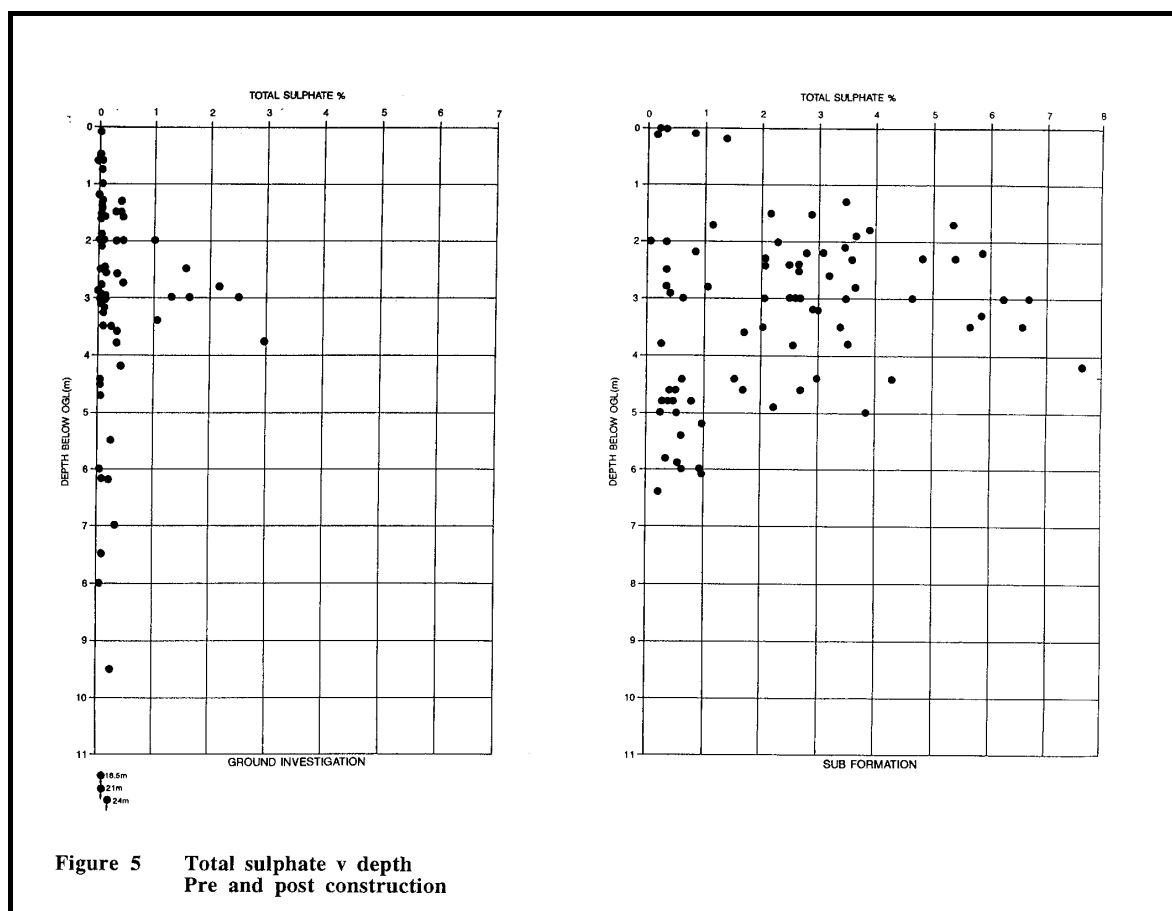
general del material colocado, con expansiones de las capas estabilizadas con cal de hasta el 60% del espesor inicial de la tongada.

El análisis de éstos fenómenos ha sido estudiados por E.A. Snedked, de la Ingeniería Ove Arup & Partners, y se han publicado en Lime Stabilisation, 1996.

Del análisis realizado por el autor anterior, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

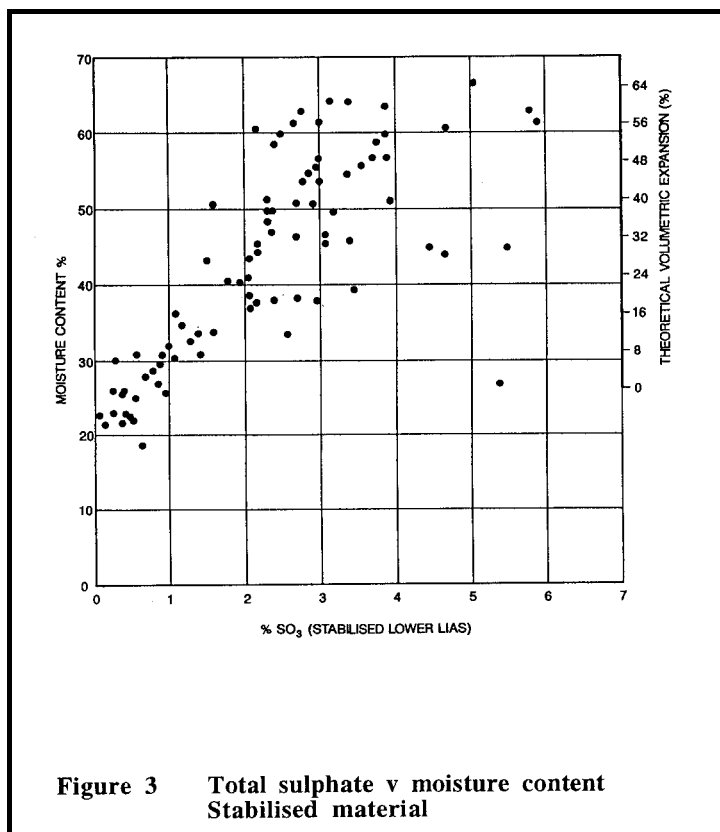
- Las zonas en que se habían presentado los problemas, el suelo estabilizado había incrementado su volumen hasta el 60%, con un claro aumento de su índice de huecos y su contenido en humedad.
- En todas las zonas en que se habían producido alteraciones del terreno estabilizado, se comprobó la existencia de ettringita, incluso para porcentajes de sulfatos del 0,3% de  $\text{SO}_3$ .
- Los contenidos en sulfatos obtenidos en las capas estabilizadas podían ser muy superiores a los del terreno de apoyo, lo que indicaba un enriquecimiento en sulfatos del material estabilizado debido al agua de saturación que alcanzaría posteriormente la saturación.

Así en la **figura 6.12**, se representan los contenidos en sulfatos determinados en el terreno natural, antes y después de la construcción de la autovía.



**Figura 6.12 - Variación del contenido en sulfatos para las distintas profundidades después de la construcción de la autovía**

- En el material estabilizado parece estar relacionado el porcentaje de humedad del terreno con el contenido en sulfatos, como puede verse en la **figura 6.13**.



**Figura 6.13 – Relación entre la humedad final de material estabilizado con su contenido en sulfatos**

Otras zonas donde se han presentado problemas por la presencia de sulfatos sería la Autovía Francesa A-28 de Alençon a Tours, en el tramo Le Mans-Maresché, por la presencia de sulfuros y sulfatos en las margas tratadas con cal.

#### 6.6.3.2 Recomendaciones y experiencias de la bibliografía internacional

No aparece establecida en la bibliografía existente ninguna metodología clara con actividades cuantificadas para el tratamiento con cal de suelos que presenten sulfatos, o para terrenos estabilizados por los que posteriormente vayan a filtrarse aguas selenitosas.

Si es habitual en las distintas recomendaciones el fijar un margen o límite en el contenido de sulfatos a partir del cual se considera poco aconsejable el tratamiento con cal. En este caso, no se tienen en cuenta otros factores que ya hemos comentado anteriormente como la temperatura de colocación, tiempo de maduración, porcentaje de cal del tratamiento, etc. Por consiguiente, esto indica que el nivel de conocimientos sobre la posible influencia de los sulfatos en el suelo tratado es todavía muy insuficiente, con lo que dada la importancia de los daños que puede ocasionar, se prescriben únicamente unas medidas generalistas muy restrictivas.

**a) Experiencias en Estados Unidos**

En la Norma Americana del TRB “Lime Stabilization” de 1987, no se indica ningún criterio de restricción del tratamiento según el contenido en sulfatos (aunque por otro lado, si se establecen recomendaciones respecto a las condiciones climáticas adversas para la no utilización).

En el libro de Little “Stabilization of pavement subgrades & base course with lime”, 1995, se indica que materiales con contenido en fracción arcillosa superior al 10% y porcentaje de sulfatos solubles mayor del 0,2%, pueden presentarse problemas cuando se realice la estabilización con cal.

Sin embargo, en este mismo libro se indican que las investigaciones realizadas durante el año 1992 por Little y Petri, permitieron establecer unas técnicas establecidas que bajo ciertas condiciones pueden garantizar la falta de riesgo para el tratamiento con cal de suelos que contienen sulfatos. Ésta modificación del proceso constructivo, estaría basada en los siguientes puntos:

- Colocar el material con suficiente cantidad de agua para garantizar que se disuelven los sulfatos y se inicia y completa la formación de las sales de ettringita durante el mezclado y posterior proceso de maduración.
- La mezcla de suelo, cal, sulfatos y agua debe ser suficientemente homogénea para que la ettringita que pueda formarse no se concentre en zonas determinadas produciendo daños parciales.
- La estructura del firme está proyectada para impedir que posteriormente puedan penetrar en el terreno estabilizado aguas con contenido en sulfatos.

Por consiguiente, la experiencia americana la podríamos resumir en los siguientes puntos:

- La Asociación de Fabricantes de Cal de los Estados Unidos (N.L.A. 2000) indica los siguientes umbrales de riesgo:
  - \* Por debajo del 0.3% en peso de suelo, es difícil que se produzcan daños
  - \* Moderadamente arriesgado; 0.3% y 0.5%
  - \* De moderado a alto riesgo, entre 0.5 y 0.8%
  - \* Entre el 0.8 y el 1% el riesgo es alto
  - \* Con más de un 1% el riesgo de que se produzcan daños es muy alto.
- Hunter, 1998, fija el umbral de daños para porcentajes entre el 1 y el 2% de contenido en sulfatos, mientras que Perrin, 1992, indica que pueden existir riesgos severos con porcentajes del 0.2 al 0.9%.
- No hay unanimidad entre los distintos autores respecto al límite de contenido en sulfatos a partir del cual se tendría un riesgo severo de daños.

- Se indica que deben tomarse precauciones para contenido en sulfatos solubles superior al 0,2%, siempre que además la fracción arcillosa del terreno a tratar sea mayor del 10%.
- Se recomienda un proceso constructivo que favorezca la formación inmediata de las sales expansivas, como es el trabajo con abundancia de agua y un buen mezclado, de forma que finalice esta formación durante el período de maduración de la mezcla y antes de su compactación

*No se indica nada en las recomendaciones americanas sobre el efecto de la temperatura ambiental en el momento de realización de la mezcla ni en su curado, así como la relación que pueda existir entre contenido en sulfatos del terreno y máximo contenido recomendable de cal para el tratamiento.*

### **b) Recomendaciones en Gran Bretaña**

Ya hemos comentado en puntos anteriores que en el Reino Unido fue el estado en donde se produjeron los mayores desperfectos por efecto de los sulfatos que se hayan reconocido posteriormente en la bibliografía.

Tal y como se indicó anteriormente, se comprobó que puede producirse formación de ettringita para contenidos en sulfatos de solo el 0,3% de  $\text{SO}_3$ .

Sin embargo, Perri, del TRL y Otros, no establecen ninguna limitación en el contenido en sulfatos para que pueda realizarse un tratamiento o estabilización con cal, recomendando únicamente que debe disminuirse la porosidad al aire a menos del 5%.

Estas recomendaciones parecen muy razonables para su aplicación en una zona húmeda y clima templado como es el Reino Unido en que se cumple:

- No hay pérdidas por evaporación con lo que el agua de constitución del relleno viene a mantenerse sin modificación durante toda la vida del mismo.
- Para un porosidad al aire del 5%, las burbujas se hayan aisladas y nunca interconectadas, por lo que es imposible su sustitución por agua, y por tanto, el material resulta totalmente impermeable.
- En las condiciones climáticas del Reino Unido, las temperaturas nunca alcanzarán valores tan extremos como en el caso de clima continental, por lo que no se retardará la formación de ettringita por fenómenos climáticos.

Sin embargo, no se tiene en cuenta en estas recomendaciones que puede inhibirse la formación de ettringita por la alcalinidad de la mezcla del suelo tratado, tal y como se ha comentado en el apartado anterior que ha quedado demostrado.

La normativa para la estabilización con cal, viene reflejada en el artículo 615 de las "Specification for Highway Works", en donde ninguna prescripción respecto a la limitación del

contenido en sulfatos (aunque si se indican prescripciones respecto a la temperatura mínima en los períodos en que pueda realizarse el tratamiento).

### **c) Recomendaciones francesas**

En la publicación del SETRA-LCPC “Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques”, 2000, no figura ninguna limitación respecto al porcentaje en sulfatos para que no sea aplicable este método de tratamiento. Únicamente en el artículo 1.1 se indica que pueden presentarse problemas para contenidos en sulfuros y sulfatos (piritas o yesos), recomendándose un límite del 1% en porcentaje de  $\text{SO}_3$ .

Se recomienda igualmente que se realice el ensayo de la aptitud de un suelo para su tratamiento con cal, tal y como viene definido por la Norma NFP 94-100, analizando cuidadosamente si se observa alguna anomalía.

**APORTACIONES Y TRATAMIENTOS  
REALIZADOS**

## 7. APORTACIONES Y TRATAMIENTOS REALIZADOS

Después de la descripción de los efectos del tratamiento con cal y de los factores que pueden modificar el comportamiento del suelo tratado, así como de la recopilación bibliográfica de publicaciones y normativas sobre este tema, se incluyen en este apartado los estudios y ensayos realizados para el análisis de los distintos aspectos que influyen en el proceso de tratamiento, **lo que constituye la aportación de esta tesis.**

Los trabajos realizados han consistido tanto en la ejecución de campañas sistemáticas de ensayos sobre muestras de distinta procedencia, como en los métodos de control de las obras en que ha intervenido el autor.

### 7.1 Variaciones en la estructura mineralógica

De forma específica para este estudio, se han analizado las variaciones en la estructura mineralógica que se producen en los suelos tratados en función de la naturaleza del ligante.

Los tipos de materiales considerados como ligantes han sido:

- Cal hidratada
- Cal hidratada + cemento CEM Tipo II, B-M/32.5 (en dos fases de tratamiento)
- Ceniza volante procedente de la térmica de Puertollano activada con cemento tipo II, B-M/32.5

Los materiales tratados tenían las siguientes características:

- **Arcillas arenosas del Mioceno de Castilla-León (Carrión de los Condes).**

Depósitos característicos del Terciario, constituidos por alternancias de arenas arcillosas de plasticidad media y arcillas arenosas de alta plasticidad.

Con pequeñas variaciones, en su composición pero que puede implicar una variación importante en sus propiedades geotécnicas, los depósitos terciarios de la península pueden clasificarse como relativamente semejantes, si bien con las siguientes diferenciaciones:

- Los depósitos terciarios de la Facies Central, presentan niveles arcillosos de alta plasticidad, así como capas carbonatadas y en su base yesíferas.
- Los depósitos terciarios de Castilla-León se caracterizan por presentar en general una plasticidad menor que los de la Facies Central, y con la presencia de arcillas micáceas que pueden dar a los mismos un ángulo de rozamiento muy bajo. Igualmente debe destacarse que dentro de estos depósitos se incluyen lentejones de gravas, en algunos casos cementadas, formando conglomerados.



- Los depósitos terciarios del entorno de Barcelona, con sus mayores potencias en periodos posteriores a los dos anteriores (Plioceno con una potencia muy superior a la del resto de la península), se caracterizarían por su predominio limoso, y también el nivel mioceno inferior, constituido por gravas arcillosas, sería sensiblemente distinto al de otras zonas.
- Finalmente, los otros depósitos terciarios que rellenan las cubetas de hundimiento, como la de Oviedo o la de Grado en Asturias, se han rellenado a partir de materiales predominantemente arcillosos y de plasticidad media a alta (baja resistencia al corte), pero con niveles carbonatados claramente definidos y que alcanzan una resistencia propia de una roca.
- El Terciario andaluz del valle del Guadalquivir, cuya formación más característica son las margas azules, presenta características claramente diferenciadoras, siendo la principal su baja resistencia al corte. Está constituido por tanto por materiales arcillosos de plasticidad alta, y cuyo rozamiento residual puede alcanzar valores tan bajos como 12°.
- El Terciario del valle del Ebro presenta como principal característica su alto contenido en yesos, con lo que la clasificación del mismo sería totalmente distinta de los casos anteriores, así como la posibilidad de tratamiento por su alto contenido en sulfatos.

Como puede verse, de los epígrafes anteriores hay una gran extensión de terreno en la península ocupada por los depósitos terciarios, y que serían por tanto los materiales característicos de la meseta y de relleno de las cubetas, así como el valle del Guadalquivir. Dentro de estos depósitos se destacan materiales característicos de cada zona, como los Pliocenos de Barcelona, las margas azules del Guadalquivir, los toscos de la Facies Central, las arcillas arenosas del norte de la meseta, etc.

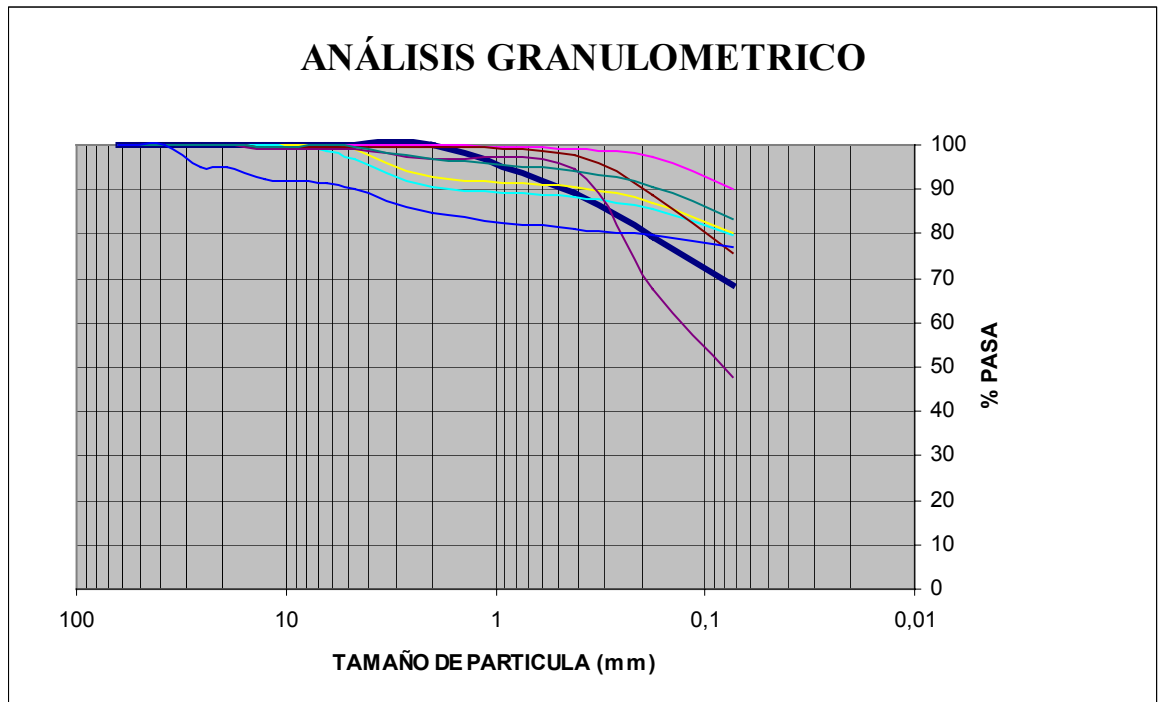
Estos materiales pueden quedar clasificados como inadecuados a tolerables, por lo que la realización de tratamientos para la reutilización de los mismos permitiría evitar el tener que eliminarlos a vertederos y abrir nuevos préstamos, situaciones ambas de impacto ambiental desfavorable, además de su mayor coste.

Las propiedades geotécnicas medias de las arcillas arenosas de la zona de Carrión de los Condes, son:

\* Granulometría

En la **figura 7.1** puede verse el huso granulométrico obtenido para esta formación, de la que por tanto podrían obtenerse los siguientes márgenes de variación:

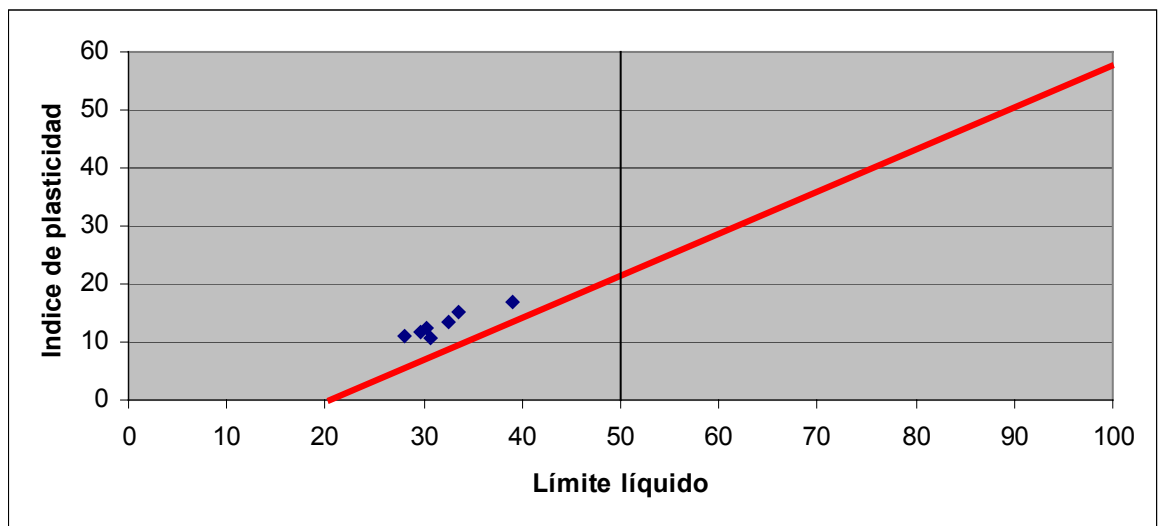
- |                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| - Porcentaje mayor de 25 mm       | 5.02%          |
| - Porcentaje mayor de 2 mm        | 0.63 a 9.53%   |
| - Porcentaje que pasa tamiz # 200 | 47.74 a 90.18% |



**Figura 7.1 – Huso granulométrico arcillas arenosas Carrión de los Condes**

\* Plasticidad

Las condiciones de plasticidad en la Carta de Casagrande se han representado en la **figura 7.2**. De acuerdo con esto podría obtenerse el siguiente margen de variación:



**Figura 7.2 Plasticidad de las arcillas arenosas de Carrión de los Condes**

Límite líquido	30 a 40%
Limite plástico	17 a 22%
Indice de plasticidad	10 a 17%

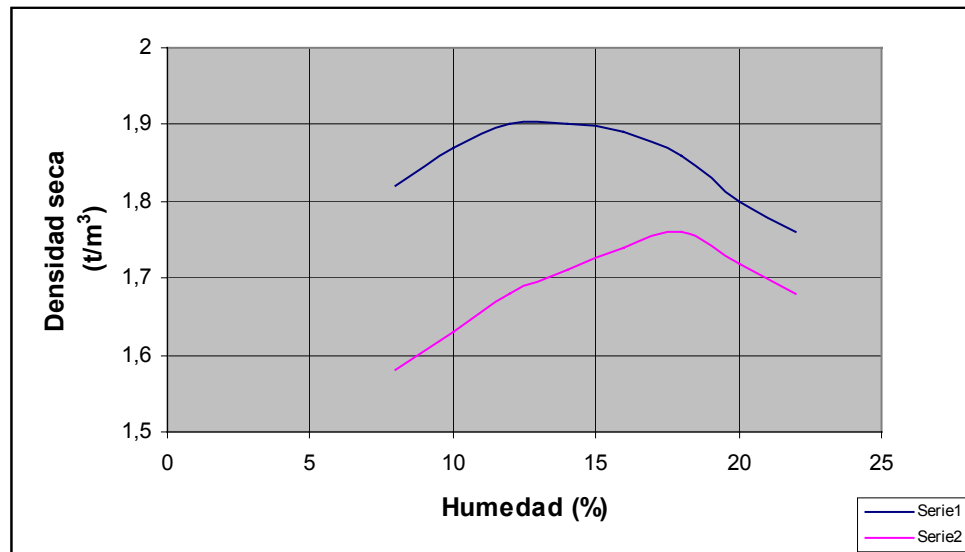
\* Componentes secundarios:

Sulfatos	0.03% SO <sub>3</sub>
Carbonatos	3.26% CO <sub>3</sub> Ca

\* Compactación:

De acuerdo con los ensayos realizados, se han obtenido las curvas de compactación en estos materiales, que se representan en la **figura 7.3**, y por tanto en los mismos podrían fijarse los siguientes márgenes:

Densidad máxima Proctor	1.76 a 1.90 t/m <sup>3</sup> (según contenido en finos)
Humedad óptima Proctor	12 al 18% (según contenido en finos)



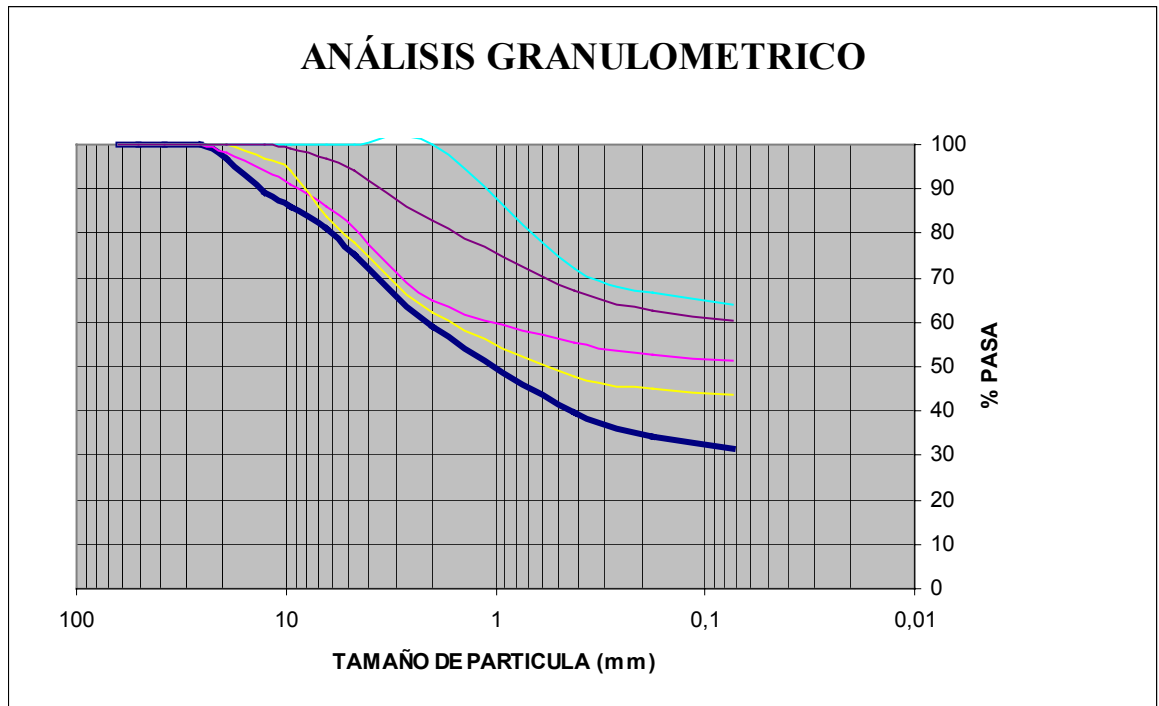
**Figura 7.3 – Curvas de compactación**

- Arcillas limosas de alteración de pizarras arcillosas (Cedillo – Cáceres).

Es un suelo eluvial de composición muy variable, ya que los finos generados procedentes de la alteración de las pizarras están constituidos por materiales de plasticidad muy diversa, desde limos arenosos hasta arcillas de alta plasticidad, dependiendo de la naturaleza de la pizarra origen.

\* Granulometría:

En la **figura 7.4** puede verse el huso granulométrico de los ensayos realizados, del que pueden sacarse las siguientes conclusiones:

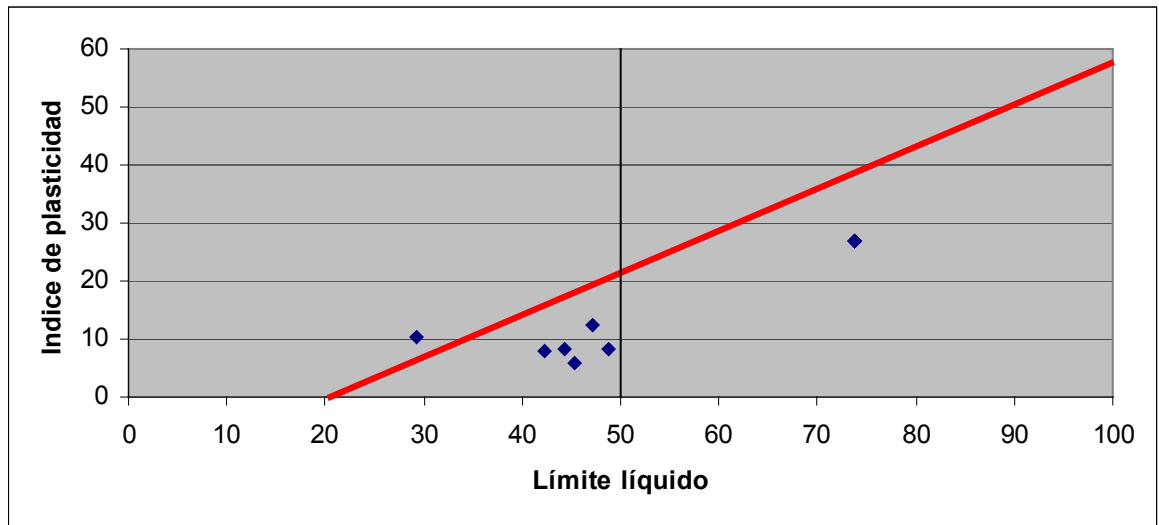


**Figura 7.4.- Huso granulométrico arcillas limosas de Cedillo**

Porcentaje mayor de 25 mm	0%
Porcentaje mayor de 2 mm	0 al 41%
Porcentaje que pasa tamiz # 200	31 al 64%

\* Plasticidad:

Como se ha citado, las condiciones de plasticidad pueden ser muy variables, representándose en la **figura 7.5** la situación de las mismas en la Carta de Plasticidad de Casagrande.

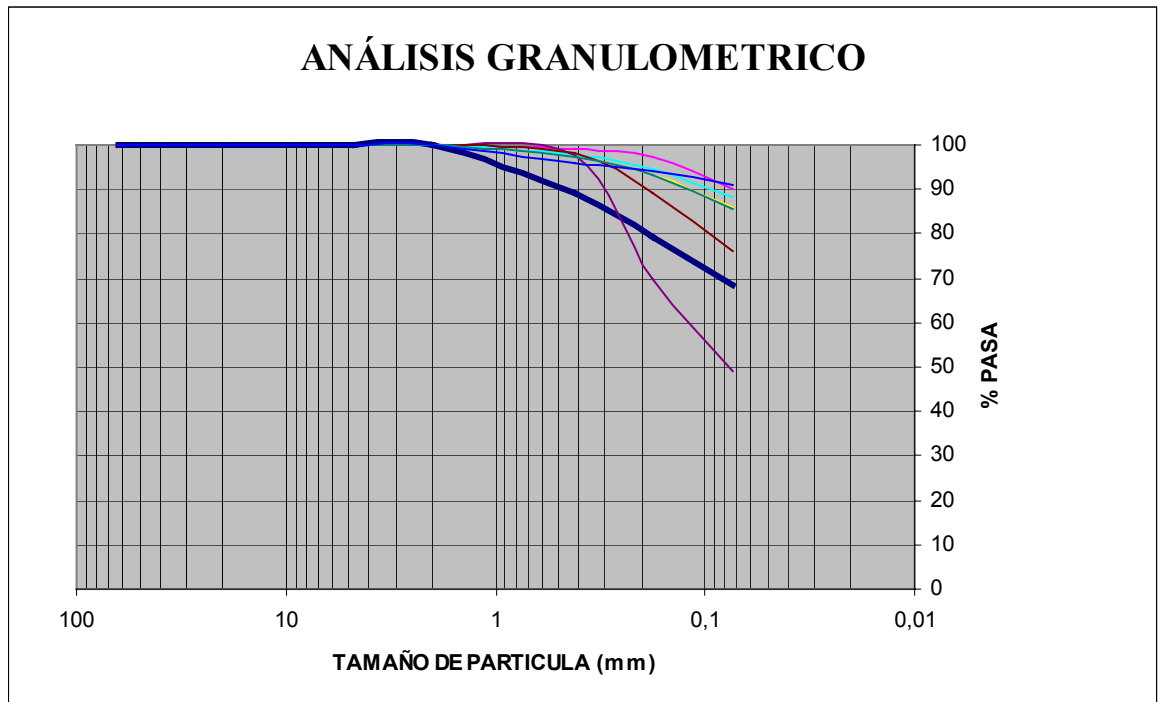


**Figura 7.5.- Plasticidad de las arcillas limosas de Cedillo**

Límite líquido	45 a 74%
Limite plástico	19 a 45%
Indice de plasticidad	6 a 27%

#### **7.1.1 Tratamiento con cal hidratada de las arcillas arenosas del Terciario de Carrión de los Condes**

Los ensayos de tratamiento con ligantes se realizaron con la parte del material que pasaba por el tamiz # 10 ASTM (material < 2 mm). En la **figura 7.6** puede verse la granulometría del material utilizado para el tratamiento.



**Figura 7.6 – Granulometría de la muestra a tratar con cal, una vez eliminados los elementos que no pasan por el tamiz # 10**

Como puede verse, el material tratado presenta una granulometría con predominio de los materiales arcillosos.

El ligante empleado ha sido un 4% de cal hidratada, colocada según el siguiente procedimiento:

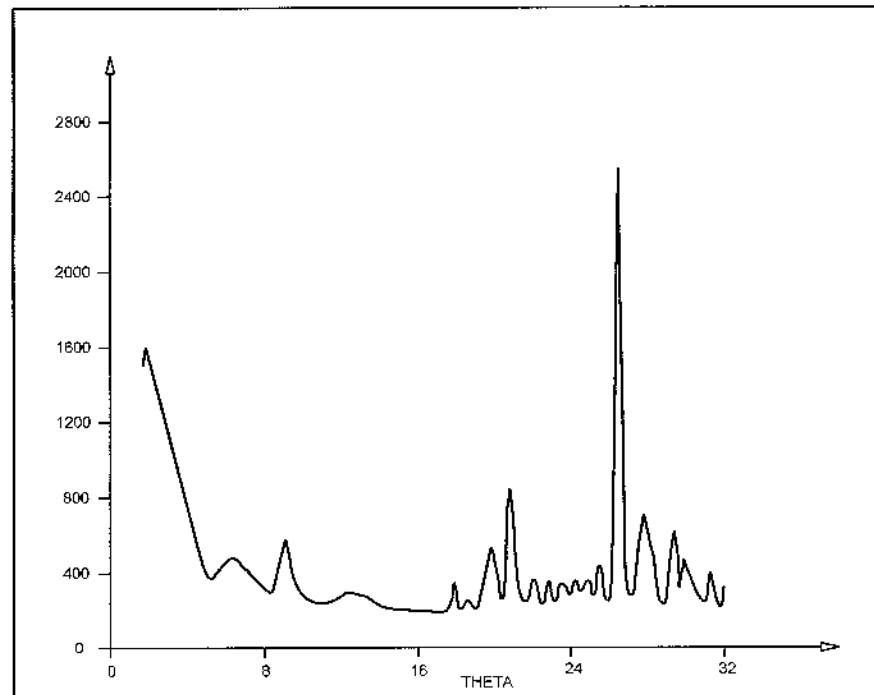
Se ha realizado con todas las muestras tratadas con los distintos ligantes un análisis espectral mediante difracción de Rayos X, así como un análisis de la estructura de la probeta mediante microscopio de barrido electrónico.

El procedimiento seguido por tanto es el habitual en la bibliografía general, pero contando con la ventaja de que las muestras analizadas **corresponden a periodos de curado del orden de 2,5 años, con lo que puede verse un estado mucho más evolucionado de las uniones puzolánicas**. Por el contrario, no se ha realizado, por juzgarlo suficientemente conocido, ensayos de difracción y microscopía electrónica del material sin tratamiento o con tratamiento; es conocido como se ha comentado en el capítulo anterior, cómo el efecto del tratamiento disminuye el pico de las esmectitas en la difracción y modifica la estructura del material en la microscopía, en base a la formación de espículas o elementos aciculares en el contorno de las partículas arcillosas.

Las denominaciones empleadas para la realización de estos análisis han sido:

- Para el análisis espectral **A-III**
- Para la microscopía electrónica **A-3**

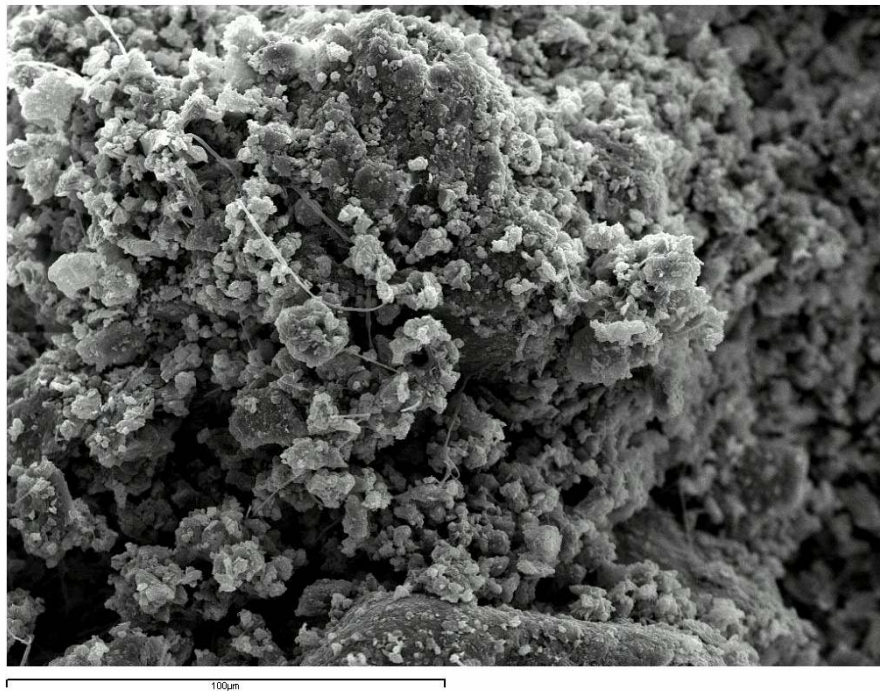
En la **figura 7.7** pueden verse los resultados del análisis por difracción de Rayos X.



**Figura 7.7.- Análisis por rayos x de arcillas maduras**

Como puede verse, en el gráfico anterior el pico debido a la presencia de esmectitas, que se sitúa en el entorno de los 10  $\text{\AA}$ , así como el pico de las esmectitas más cloritas en los 6  $\text{\AA}$ ; es también destacable los picos situados a 9 y 17,5  $\text{\AA}$  correspondientes a micas, lo que indica la presencia de elementos micáceos en las arcillas. En los otros picos, únicamente se destacan los correspondientes al cuarzo, que se sitúa el de mayor intensidad entre 26 y 27  $\text{\AA}$ .

En la **foto 7.1** puede verse la estructura resultante para un suelo madurado de tratamiento de arcillas con cal.

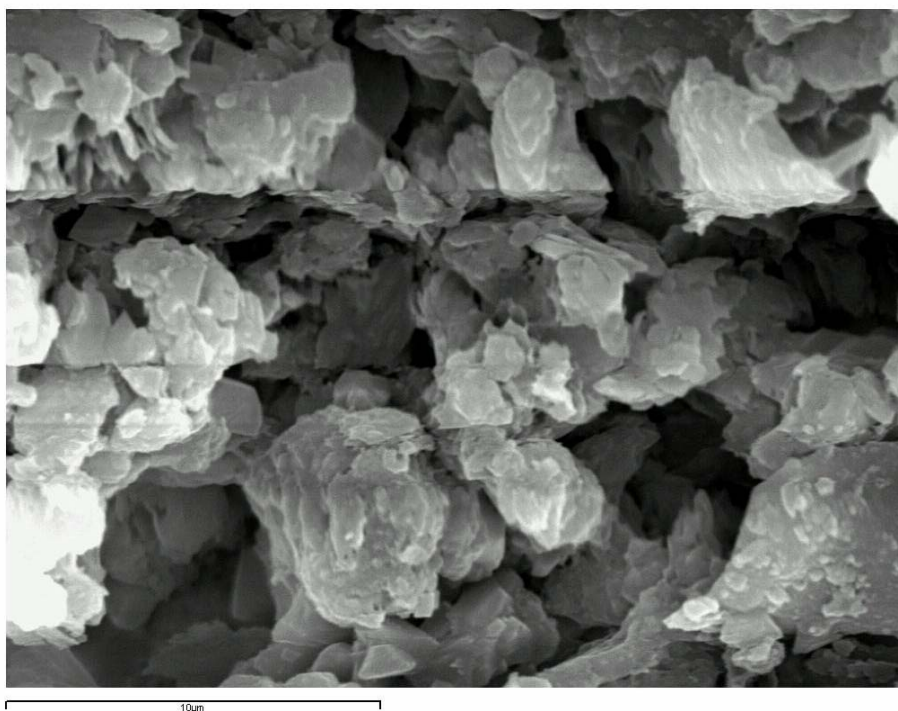


**Foto 7.1.- Estructura a largo plazo de arcilla tratada con cal**

Como puede verse, una vez que se ha producido una maduración y endurecimiento del terreno tratado, éste adopta una estructura de glomérulos agrupados formando macroelementos y sin que sean claramente diferenciables las uniones puzolánicas con las formas aciculares que inicialmente son visibles.

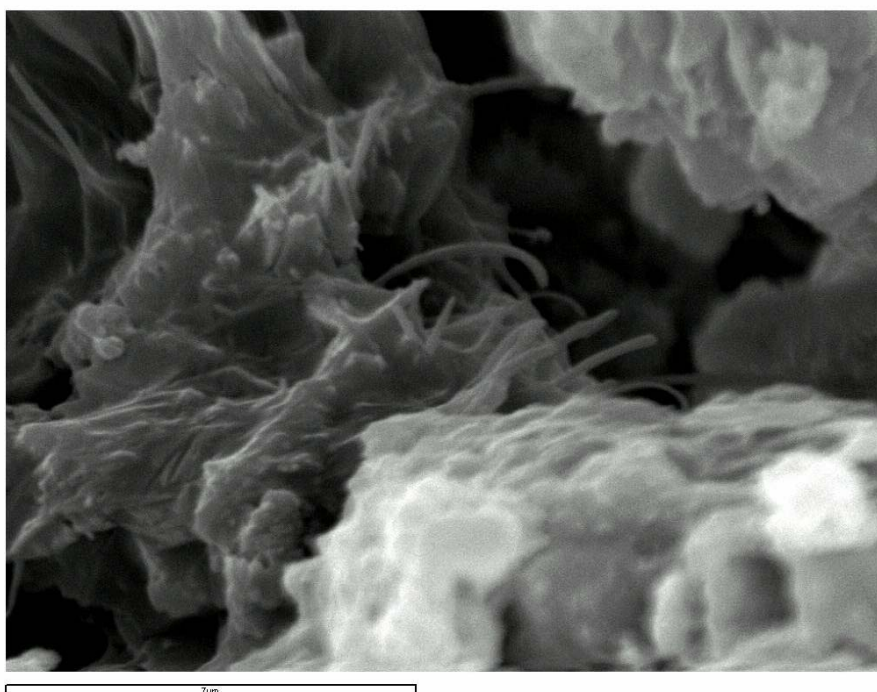
En la **foto 7.2**, realizada con mayor aumento, puede verse un detalle del contorno de una macropartícula, en que se ve claramente la disposición de las partículas formando puentes pero sin que sean visibles en ningún caso elementos aciculares asociables al crecimiento de enlaces puzolánicos.





**Foto 7.2.- Detalle de unión entre pantallas**

Duplicando la resolución, se tendría en el material un aspecto como el visible en la **foto 7.3.**



**Foto 7.3.- Detalle de un puente de unión entre partículas**

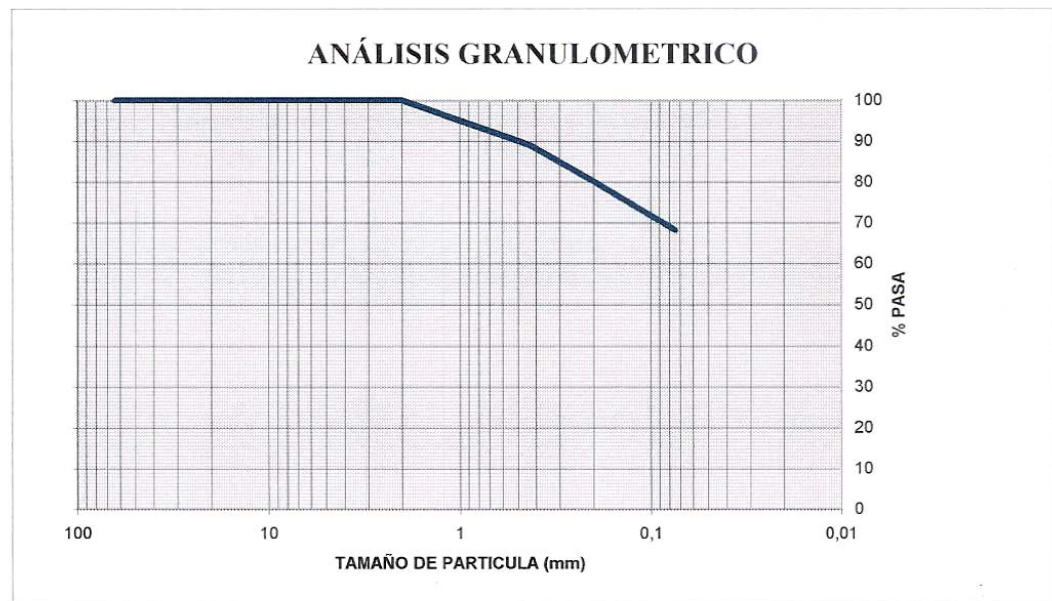
En esta foto sí puede observarse la superficie irregular del contorno de las partículas, así como el crecimiento de algunos elementos aciculares que pueden ser debidos a uniones puzolánicas no evolucionadas.

### 7.1.2 *Tratamiento con cal hidratada y cemento de las arenas arcillosas del Terciario de Carrión de los Condes*

El doble tratamiento es analizado en muchos casos prácticos, de acuerdo con la siguiente filosofía:

- El tratamiento con cal inicial permite la modificación de las propiedades del suelo, y por tanto que el mismo cumpla las exigencias de suelo QS2 ó adecuado.
- El tratamiento de cemento permite mejorar su resistencia, y utilizar este material en las capas superiores de explanada. A este respecto debe tenerse en cuenta que, de acuerdo con la Norma de Firmes para las explanadas de mejor calidad es obligado el empleo de tratamiento con cemento.

Igual que en el caso anterior, el material a tratar ha sido el de tamaño inferior a 2 mm (pasa por el tamiz # 10). En la **figura 7.8**, se representa la granulometría del material a tratar, que como puede verse presenta menor contenido en finos y por consiguiente mayor fracción arenosa.



**Figura 7.8 – Granulometría de las arenas arcillosas de Carrión de los Condes**

El tratamiento se ha hecho en dos fases:

- \* Tratamiento previo con cal, dejando el material endurecer durante 7 días en cámara húmeda a 49,8°. Al final de este proceso se realiza la rotura de las probetas.

La humedad óptima del material obtenida del ensayo Proctor ha sido del 14%.

El porcentaje de cal para el tratamiento ha sido del 4% en peso.

El porcentaje de agua añadido para el tratamiento con cal ha sido el correspondiente a la humedad Proctor + un 0,5% más por cada 1% de cal, esto es, el 16%.

Las densidades aparentes obtenidas han variado de 2,09 t/m<sup>3</sup> a 2,15 t/m<sup>3</sup>, con un valor medio de 2,12 t/m<sup>3</sup>.

Las resistencias a compresión obtenidas de las muestras han variado de 6,33 kp/cm<sup>2</sup> a 16,24 kp/cm<sup>2</sup>, con un valor medio de 12,55 kp/cm<sup>2</sup>. Por tanto, puede decirse que estas arcillas arenosas son medianamente reactivas con la cal.

- \* El material roto se disgrega manualmente, de forma que su contenido en finos (pasa # 200 ASTM) sea del 35% y su contenido en tamaño menor de 2 mm del 55%.
- \* Tratamiento final con lechada de cemento 1/1 y con un porcentaje del 12% en peso de lechada sobre el material a tratar (esto es, el porcentaje de cemento utilizado sería del 6%).

Las muestras así elaboradas se realizaron el 3 de Abril de 2.001.

Las densidades aparentes obtenidas en las muestras varían de 1,76 t/m<sup>3</sup> a 1,85 t/m<sup>3</sup>, con un valor medio de 1,80 t/m<sup>3</sup>.

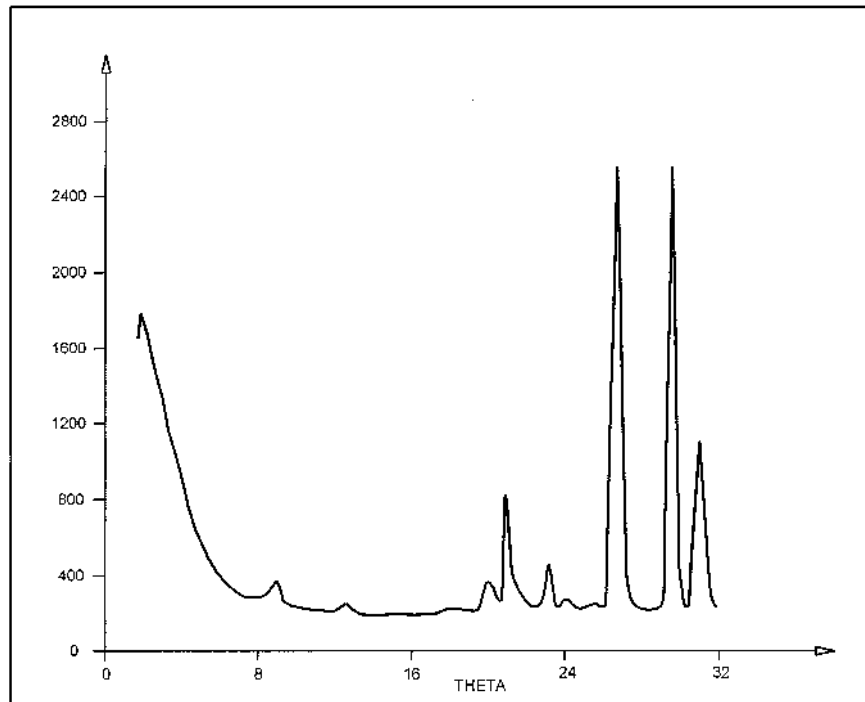
Las roturas de estas muestras, salvo la analizada con diagráfia y microscopía electrónica, se han realizado el 5 de Noviembre de 2.003.

Los resultados de las roturas a compresión han dado valores comprendidos entre 10.49 y 14.1 kp/cm<sup>2</sup> para deformaciones en rotura del 4.14 al 5.61%. (estas deformaciones de roturas están dentro del rango del comportamiento de suelos tratados con cal)

Con una probeta realizada el 3 de Abril de 2.001, se ha realizado un ensayo de determinación de la estructura mediante difracción de Rayos X y microscopio de barrido electrónico, la denominación empleada para estos análisis ha sido:

- |   |                                    |     |
|---|------------------------------------|-----|
| - | Ensayo de difracción con Rayos X   | A-I |
| - | Microscopía electrónica de barrido | A-I |

En la **figura 7.9** se tendría la representación del análisis espectral.

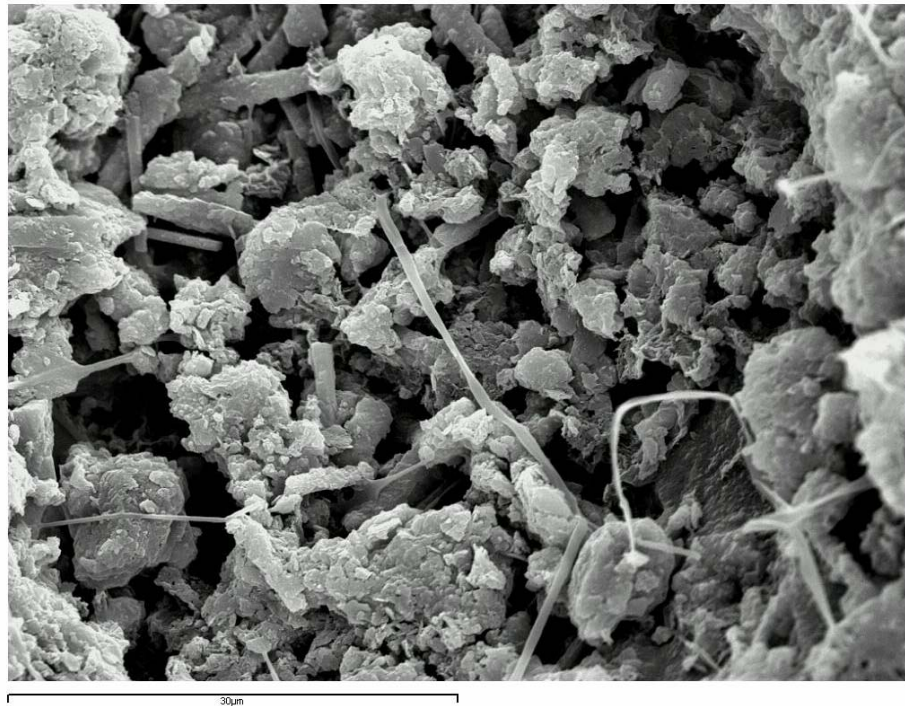


**Figura 7.9 – Análisis espectral de arcillas arenosas de Carrión de los Condes tratadas**

De los resultados obtenidos de este análisis pueden destacarse los siguientes puntos:

- En primer lugar debe destacarse la aparición de picos muy marcados en la calcita y la dolomita, **que únicamente pueden ser debidos a las reacciones debidas a la cal** (estos picos, sin embargo, no han aparecido en la muestra anterior). Aparecen también los picos debidos a la existencia de micas en mucho menor proporción, y los del cuarzo, con su mayor amplitud en el entorno de los 27  $^{\circ}$ .

Igualmente se ha realizado microscopía electrónica de barrido. En la **foto 7.4** puede verse la estructura resultante del material tratado.



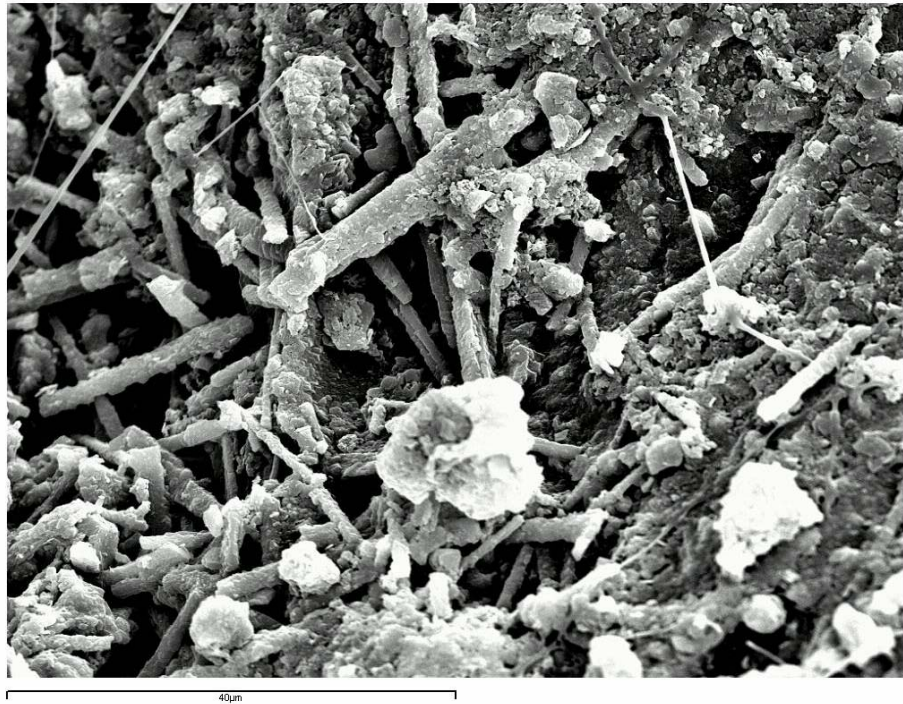
**Foto 7.4.- Estructura a largo plazo del suelo tratado**

Como puede verse en la citada foto, el porcentaje de “bastoncillos” de origen puzolánico es muy importante, y los mismos han perdido las formas aciculares que para periodos reducidos de curado se muestran en la bibliografía.

Igualmente se observan aglomeraciones de partículas, habiéndose perdido las formas generales de la microestructura arcillosa, con formas laminares de distribución errática.

Un detalle del crecimiento de protuberancias meandriformes en la superficie de las partículas puede verse en la **foto 7.5**, en que igualmente destaca la interconexión entre todos los “bastoncillos” que forman, a modo de una malla tridimensional. Esta estructura por tanto proporcionará al suelo una resistencia elevada y deformabilidad reducida, a pesar de que se mantiene, como puede verse, un volumen de huecos apreciables (debe recordarse que en un suelo tratado no suele aumentar, sino disminuir ligeramente la densidad máxima Proctor).





**Foto 7.5.- Detalle de uniones y crecimientos de protuberancias a largo plazo**

### **7.1.3 Tratamiento con ceniza y cemento del eluvial de pizarras arcillosas de Cedillo**

Aunque este tratamiento queda fuera del ámbito de análisis de este estudio, se ha incluido su consideración en lo que respecta a la modificación de la estructura microscópica para analizar las diferencias y similitudes que presenta la formación de ligante entre partículas, con respecto a los otros tratamientos de cal y de cemento.

Por las características singulares de este material de alteración de pizarras, en que las partículas arcillosas presentan un porcentaje apreciable de micacitas e illitas, los tratamientos con cal y/o cemento, dieron unos resultados muy desfavorables, prácticamente con muy poca actividad en el caso de mejora con cal, y necesitando porcentajes de cemento en torno al 8%, para que se obtuviera una mejora aparente.

A la vista de esto, se diseñó un doble tratamiento en base a cenizas volantes activadas con cemento.

El ligante de ceniza/cemento está constituido por un 75% de ceniza volante de Puertollano, y un 25% de CEM Tipo II BP/32,5.

Las muestras se prepararon con un 8% en peso de mezcla ceniza-cemento, y se realizaron en molde de Miniproctor compactándose con la energía del Proctor normal. Las roturas se realizaron el 14 de Abril y el 14 de Mayo de 2.001, obteniéndose los siguientes resultados:

- Roturas el 14 de Abril:  
 $q_c = 9,10-9,83-11,09 \text{ kp/cm}^2$

Humedad (secado a 50°) = 8,94-7,06-9,05% respectivamente.

Densidad aparente  $\gamma_a = 1,882-1,878-1,930 \text{ t/m}^3$  respectivamente

Densidad seca  $\gamma_d = 1,727-1,754-1,770 \text{ t/m}^3$  respectivamente

- Roturas el 14 de Mayo:

$q_c = 16,21-22,64-25,32 \text{ kp/cm}^2$

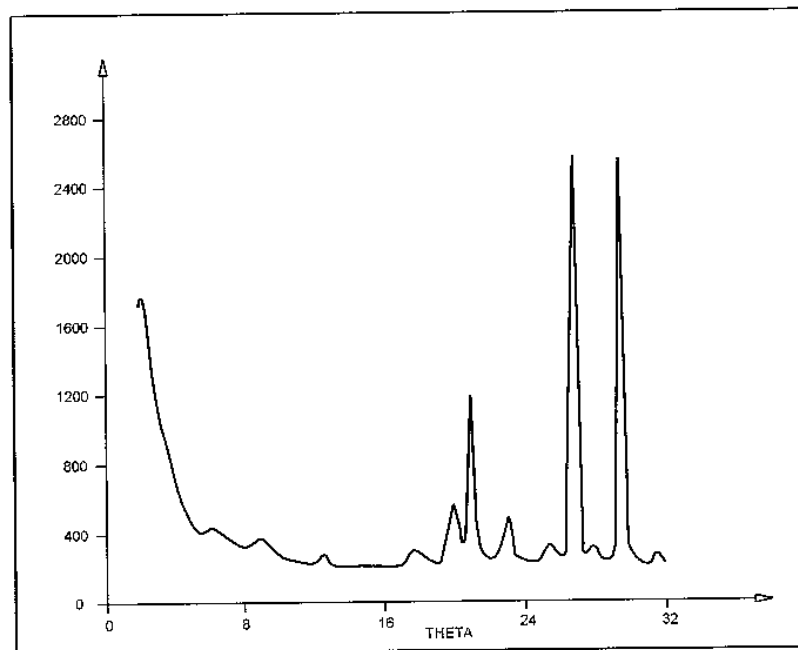
Densidad aparente  $\gamma_a = 1,947-1,955-1,962 \text{ t/m}^3$  respectivamente.

Con una de las muestras preparadas, y tras un periodo de maduración de 2,5 años (desde Mayo de 2.001 a Noviembre-Diciembre de 2.003) se realizó un análisis espectral y con microscopio electrónico de barrido.

La denominación adoptada para los ensayos con esta muestra ha sido:

- Ensayos de análisis espectral mediante difracción por Rayos X **A-II**
- Análisis con microscopio electrónico de barrido **A-6**

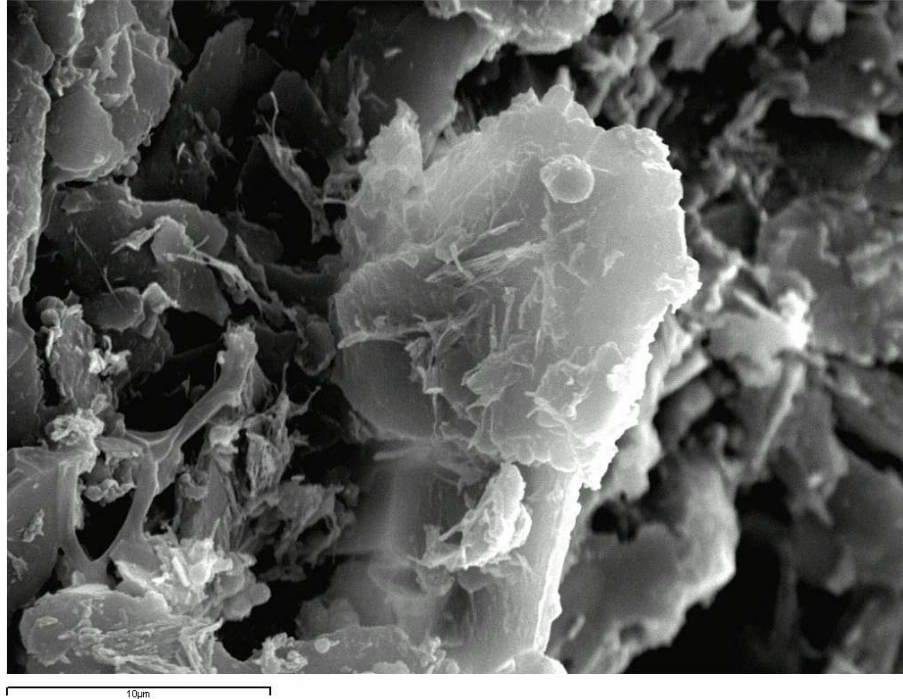
En la **figura 7.10** puede verse los resultados del análisis espectral.



**Figura 7.10 - Análisis espectral de pizarras arcillosas de Cedillo tratadas**

Del análisis de este espectro, se destaca la existencia de un pico en  $29,5 \text{ }^\circ$  correspondiente a la existencia de calcita (probablemente formada a expensas del aporte de cal hidratada), la existencia de un pico en  $20 \text{ }^\circ$  de filosilicatos, que pueden proceder del aporte de ceniza, y menos marcados los correspondientes a las micas y cloritas. Igualmente, son destacables los picos correspondientes al cuarzo en  $21$  y  $27 \text{ }^\circ$ .

En la **foto 7.6** puede verse la estructura mineralógica resultante del tratamiento con ceniza volante activada con cemento y después de un periodo de curación de más de dos años, en que ya se habrá producido la mayoría de los enlaces de origen puzolánico.

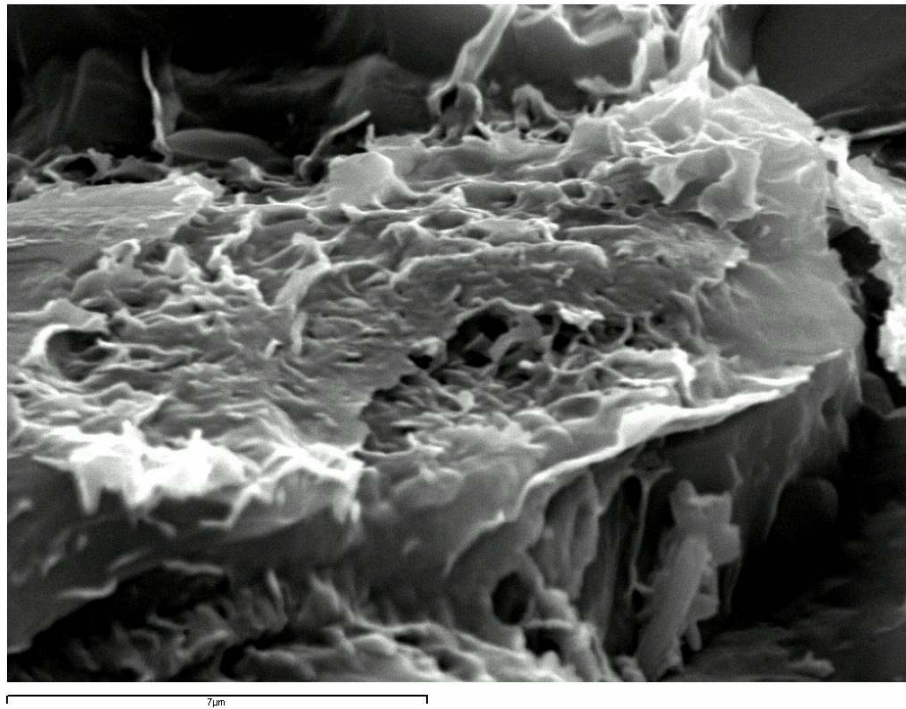


**Foto 7.6.- Estructura a largo plazo de un suelo tratado con cemento y ceniza**

Dentro de la estructura de partículas, se ven algunas cuya forma original podría ser cúbica o esférica, y que podrían corresponder a la ceniza. Estas partículas están recubiertas de protuberancias de origen puzolánico que unen las mismas con elementos laminares más característicos de las estructuras arcillosas.

En la **foto 7.7** puede verse un detalle de la superficie de una de estas macropartículas, en que queda claramente reflejada la estructura dendrítica o amebiforme de las protuberancias de origen puzolánico.





**Foto 7.7.- Detalle de las protuberancias debidas a las cenizas producidas a largo plazo**

Como puede verse, el aspecto general de la estructura obtenida sería similar a las representadas en las **fotos 7.6 y 7.7** de la bibliografía, si bien con la diferencia de que al haberse realizado el análisis después de un tiempo de maduración suficientemente dilatado, el número y tamaño de las uniones puzolánicas es muy superior al habitualmente reflejado en la bibliografía (en que los tiempos de curado suelen ser en general inferiores a 3 m, y por tanto las reacciones puzolánicas son incipientes dando formas muy aciculares).

## **7.2 Determinación del porcentaje de cal para el tratamiento**

Dentro de este capítulo se ha mantenido este apartado por coherencia con el de los dos capítulos anteriores.

De acuerdo con las experiencias realizadas y como se verá más adelante, el porcentaje de tratamiento viene relacionado con el porcentaje de humedad de colocación y con las exigencias que deba cumplir la capa tratada.

Aparte de los factores anteriores, también debe considerarse en el porcentaje de tratamiento el método de colocación y la garantía de un perfecto mezclado. En cualquier caso y como norma general, tal y como recomiendan las normas americanas, **el porcentaje de cal para el tratamiento debe ser un 0.5% superior al que se obtenga como necesario en los ensayos de laboratorio.**

No se recomienda la utilización de porcentajes elevados de cal, ya que al quedar entonces parte de la misma sin reaccionar como el terreno puede producir efectos negativos a lo largo del

tiempo en caso de que con posterioridad la capa tratada se vea afectada por aguas con presencia de sulfatos u otros elementos que puedan reaccionar con la cal que no haya reaccionado con el terreno.

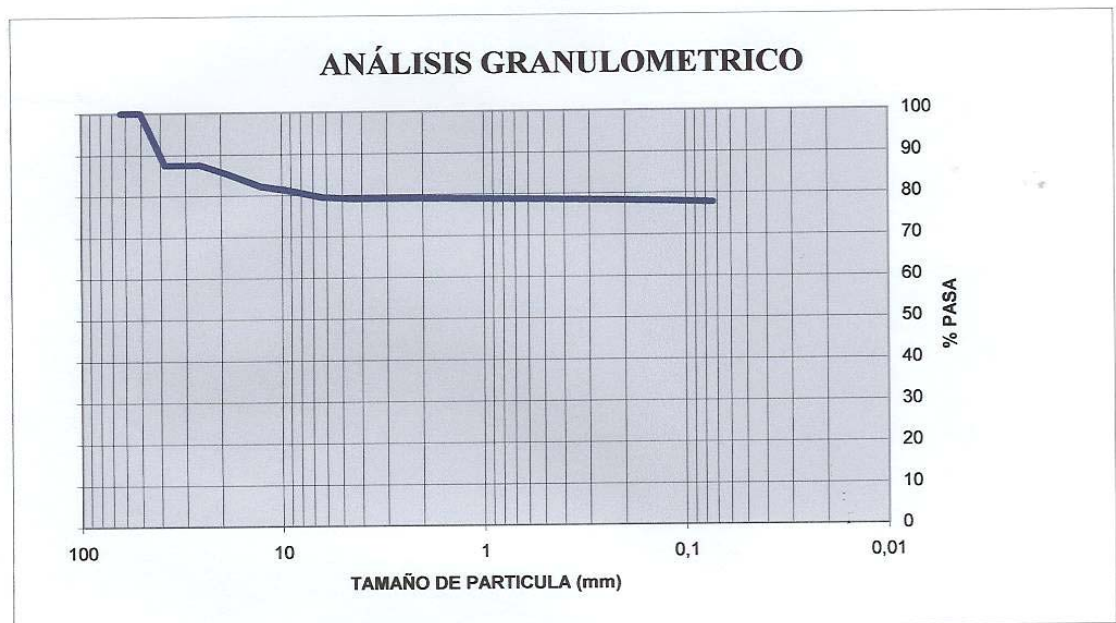
### 7.3 Efecto de la maduración

Se ha realizado un análisis sobre la efectividad del tratamiento de maduración recomendado en la normativa americana, y que básicamente consiste en:

- Realizar una primera mezcla del terreno tratado con cal hidratada y agua, **sin realizar la compactación.**
- Después del periodo de maduración que, de acuerdo con la bibliografía, puede ser de 24 horas a 7 días, completar el porcentaje de cal a añadir y el de agua, y seguidamente realizar la compactación.
- Este análisis se ha realizado combinándolo con el del ataque por sulfatos contenidos en el agua, para comprobar si la maduración previa tiene influencia en el riesgo de pérdida de capacidad portante del suelo tratado por efecto del ataque de aguas con sulfatos.

El material tratado corresponde a arcillas terciarias del valle del Guadalquivir, de alta plasticidad y que presentan propiedades expansivas.

Las propiedades medias de este material son:



Mientras que las condiciones de plasticidad son:

- Límite líquido  $LL = 60$

- Límite plástico LP = 38
- Índice de plasticidad IP = 22

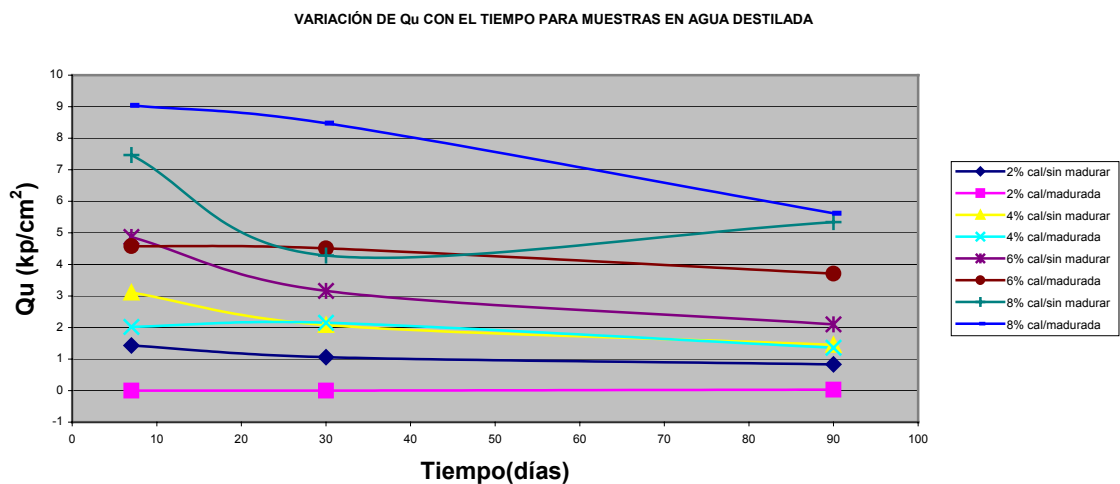
El procedimiento seguido para la maduración es el siguiente:

- Se desmenuzaba la muestra
- Se añadía el porcentaje total de cal hidratada del tratamiento
- Se añadía la mitad de la humedad definida para el tratamiento (humedad del tratamiento igual a la humedad óptima del P.N. más un porcentaje igual a la mitad del porcentaje de la cal).
- Se deja la bandeja mezclada en cámara húmeda durante 7 días para que se produzca el efecto de mellowing.
- A los 7 días añadir el resto del agua
- Preparar probetas.

En las probetas sin madurar se seguía el proceso tradicional, añadiendo el porcentaje de cal especificado y una cantidad de agua igual a la óptima del Proctor normal más la mitad del porcentaje de cal, y seguidamente preparando las probetas.

En los dos casos las probetas se mantenían durante una semana en cámara térmica húmeda a 50° para garantizar que se acelera el endurecimiento de la mezcla.

En la **figura 7.11** puede verse la comparación entre las resistencias alcanzadas, con porcentajes de cal del 2, 4, 6 y 8%, y según se haya realizado proceso de maduración (mellowing) o no.



**Figura 7.11.- Variación de la evolución de la resistencia con el tiempo según la maduración**

Como puede verse del gráfico anterior, pueden deducirse las siguiente conclusiones:

- Para porcentaje de cal del 2% el efecto de la maduración es claramente desfavorable.

- Para porcentajes de cal del 4%, no hay variaciones en la resistencia adquirida por las probetas entre las muestras maduras y sin madurar.
- Para porcentajes de cal del 6%, aunque las resistencias iniciales son similares, hay un descenso en las mismas con el tiempo en el caso de muestra sin madurar, mientras que se mantiene mucho más estable la resistencia a largo plazo de las muestras maduras.
- Para porcentajes de cal del 8% la rotura a 30 días de la muestra sin madurar ha debido presentar un defecto en su preparación, dando resistencia anormalmente más baja. En cualquier caso, parece igualmente que las resistencias alcanzadas tanto iniciales como a largo plazo son superiores en las muestras maduras que en las sin madurar.

Por consiguiente, y dando por válidos los resultados de los ensayos realizados e igualmente válida la extrapolación de sus conclusiones, podría recomendarse:

- ***Para porcentajes de cal hidratada inferiores al 5% no es necesaria en ningún caso la maduración.***
- *Esto indica que no será necesaria la maduración para el tratamiento de cuerpo de terraplenes o cualquier otro trabajo de modificación de propiedades.*
- ***Para porcentajes de cal hidratada superiores al 5% es beneficioso el efecto de la maduración, y de forma tanto o más marcada cuando mayor sea el porcentaje de cal.***
- *Por consiguiente, en los tratamientos de estabilización de capas de forma o explanadas mejoradas, en que pueden alcanzarse porcentajes superiores al 5%, sí será conveniente que se realice el proceso de maduración.*

### 7.4 Efecto de la humedad de la muestra

Como se indica en capítulos posteriores, el procedimiento de trabajo inicialmente aplicado en la M-45 para la colocación de cuerpo de terraplén y parte inferior de la explanada mejorada, utilizando arcillas plásticas tratadas con cal, ha considerado no sólo la obtención de suficiente resistencia, **sino también el garantizar la reducción de la expansividad.**

En base a esto, el rango de humedades de colocación puede quedar por encima de la óptima del Proctor, y por consiguiente no se alcanzarían las densidades máximas del citado ensayo. En muchos casos, las expansividades obtenidas para tiempos de curación a 5°, equivalentes a la situación invernal de la obra, y con humedades del orden de la óptima Proctor, eran inadmisibles, con presiones de hinchamiento superiores a 0,5 kp/cm<sup>2</sup>.

Establecida esta metodología, e incluso en materiales que no presentan problemas de expansividad, se ha seguido el mismo proceso, a saber:

- Para cada porcentaje de cal hidratada (rango usual del 2, 4 y 6%), se realizan probetas con 4-5 porcentajes de agua, con un intervalo entre un 3 y un 5%.

- No se deja tiempo de maduración.
- Se realizan las probetas en el molde Miniproctor pequeño, con diámetro de 3,6 cm y altura de 7,2 cm, si se van a realizar ensayos de compresión en las muestras curadas (igualmente estas probetas son las que se utilizan en los ensayos triaxiales), o probetas con el molde Miniproctor grande, de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura, de las que pueden sacarse al menos 3 pastillas para edómetro (en el que también se realizan los ensayos de hinchamiento o colapso) o máquina de corte directo.
- Se dejan curar durante 72 horas en cámara húmeda térmica a 48,9° ó alternativamente de 7 a 28 días en cámara húmeda a 18°.
- Se procede al ensayo de todas las probetas, esto es, con los distintos porcentajes de cal hidratada y para los porcentajes de humedad utilizados.
- De esta forma pueden elaborarse unas tablas o gráficos que relacionen la resistencia a compresión simple, resistencia al corte sin drenaje y/o presión de hinchamiento con el porcentaje de cal y el de humedad.

En los estudios realizados para la elaboración de esta tesis, así como en experiencias de su aplicación, se ha analizado exhaustivamente la modificación de los resultados obtenidos según cuál sea el contenido en humedad. A este fin debe recordarse que los efectos del tratamiento con cal deben ser:

- Mejorar la resistencia del terreno, lo que puede ser medido mediante el ensayo de compresión simple, **o mediante el ensayo de resistencia al corte sin drenaje.**
- Mejorar su estabilidad frente al agua y limitar su riesgo de colapso, lo que puede ser medido mediante el ensayo de **presión de hinchamiento o colapso.**

Además, debe analizarse cuál es la variación de estas propiedades en el terreno tratado con el tiempo.

Para el análisis de este factor, se ha utilizado material del Terciario de la cuenca del Guadalquivir, y que tendría las siguientes propiedades de identificación:

- Granulometría:

El material ensayado pasa en su totalidad por el tamiz 0.080 UNE.

- Plasticidad:

Límite líquido:	69,4
Límite plástico:	39,8
Índice de plasticidad	29,6

Con este material se realizó la compactación con la energía del Proctor Normal, y para valores de la humedad del 20, 25, 30, 35, 40 y 50%, y sin ningún tipo de adición de ligante (cal hidratada), procediéndose a la realización de ensayos de corte directo sin consolidar y sin drenaje, y ensayos de presión de hinchamiento.

Los resultados de estos ensayos pueden representarse en la siguiente tabla:

Humedad (%)	Densidad seca (t/m <sup>3</sup> )	Presión de hinchamiento (kp/cm <sup>2</sup> )	Resistencia al corte sin drenaje (kp/cm <sup>2</sup> )
20	1.27	0.31	1.43
25	1.31	0.61	1.36
30	1.34	0.71	1.40
35	1.40	0.20	0.86
40	1.28	0.10	0.36
50	1.14	0.0	0.16

Se han realizado los mismos ensayos añadiendo a esta muestra un porcentaje de cal del 4%, valor que puede considerarse en el entorno del rango medio de este tipo de tratamientos.

Igual que en el caso anterior, las muestras se han compactado con la energía del Proctor Normal, y se han dejado curar en cámara húmeda térmica a 50° durante 72 horas, de acuerdo con el método acelerado del estado de Illinois, que figura como recomendado en la normativa americana, y que merece la máxima fiabilidad, salvo en el caso de que pueda temerse la formación de ettringitas.

Los resultados obtenidos se incluyen en el siguiente cuadro:

Humedad (%)	Densidad seca (t/m <sup>3</sup> )	Presión de hinchamiento (kp/cm <sup>2</sup> )	Resistencia al corte sin drenaje (kp/cm <sup>2</sup> )
20	1.22	0.20	1.53
25	1.21	0.10	2.24
30	1.25	0.3	2.10
35	1.24	0.3	3.09
40	1.19	0.0	3.58
50	1.11	0.1	2.17

Por consiguiente se tendrían las siguientes conclusiones:

- En las muestras sin tratamiento, con el máximo valor de la densidad seca **se obtendría el mayor valor de la expansividad**, y un valor de la resistencia al corte sensiblemente en el mismo orden que el que se obtiene para valores de la humedad de compactación inferiores.
- En el caso de muestras sin tratar, con humedades 5 puntos por encima de la máxima Proctor, se tienen valores de resistencia al corte superiores a la mitad de la máxima, mientras que la presión de hinchamiento disminuye hasta una tercera parte.

- En el caso de muestras tratadas con cal, el máximo valor de la resistencia al corte no se produce para la humedad óptima, y que además corresponde a la máxima densidad, sino para humedad del orden de 10 puntos por encima de la óptima, esto es, material claramente colocado del lado húmedo.
- Mientras que las presiones de hinchamiento se sitúan en valores del orden de la mitad de la que presentaba el terreno no tratado para humedades en el entorno de la óptima Proctor, **para las humedades superiores que dan la máxima resistencia al corte, se anula prácticamente la presión de hinchamiento del material.** En cualquier caso debe tenerse en cuenta que la expansividad del material va disminuyendo con el periodo de maduración, y por tanto los valores aquí reflejados corresponden al tiempo equivalente según las condiciones climáticas a los 3 días de curado en cámara térmica.

Por tanto, del análisis anterior, podrían deducirse las siguientes recomendaciones:

- ***El control de la calidad del material tratado en base a su máxima densidad no tiene por qué ser aplicable sino que, como en cualquier material cementado, debe buscarse la máxima resistencia o la mayor estabilidad frente al agua.***
- ***Colocando el material tratado claramente del lado húmedo, pueden obtenerse valores mayores de la resistencia y disminuir totalmente el riesgo de expansividad.***
- ***La colocación del material del lado húmedo facilita el mezclado con la cal, ya que ésta última se disolvería en la propia agua añadida, pudiendo penetrar incluso por debajo del espesor de tongada, tal y como se comprobó en las tongadas de prueba de la M-45.***
- ***La colocación del material tratado en el lado húmedo hace de difícil utilización el rotobator, con lo que los medios de mezclado que deberán emplearse son los basados en la pata de cabra y la grada de rejas.***

## 7.5 Efecto de la trituración y el mezclado

En el Tramo II de la M-45 se realizó un estudio comparativo entre el comportamiento de las arcillas tratadas con cal hidratada y colocación con el sistema de pata de cabra y grada de rejas y el sistema de rotobator.

Las arcillas corresponden a los depósitos miocenos evaporíticos de Madrid. Son de alta plasticidad, con predominio de sepiolitas y presentando igualmente nódulos de sílex; como es sabido por condiciones sedimentológicas, es incompatible la deposición de sílex y sepiolita con la de yesos, y por tanto, estos materiales arcillosos no contienen sulfatos.

De acuerdo con esto, en estos materiales se tendrían valores del límite líquido comprendidos entre 40 y más de 100, aunque su intervalo más probable se limita a 50-80; el índice de plasticidad varía en un intervalo entre el 15 y el 30%, con lo que los puntos representativos de la plasticidad de estos materiales quedan por debajo de la línea A del gráfico de Casagrande.

Las densidades aparentes de este material se sitúan en un abanico comprendido entre 1,10 y 1,40 Tn/m<sup>3</sup> para las arcillas de plasticidad más baja, y puede llegar a reducirse a valores comprendidos entre 0,90 y 1,10 para las de plasticidad más alta.

A pesar de la elevada plasticidad, la expansividad de estos materiales no es excesivamente elevada, en general inferior a 1 kp/cm<sup>2</sup> observándose una clara diferencia entre los ensayos realizados con muestras inalteradas (presión de hinchamiento e hinchamiento libre) y los ensayos realizados con muestras remoldeadas (Lambe o medidas del hinchamiento libre en el ensayo C.B.R.), en cualquier caso, el potencial expansivo de esta formación sepiolítica es claramente inferior al de la formación de Montmorillonitas con presencia de yesos infrayacente y que es el nivel al que vienen asociados los mayores problemas y daños por expansividad que se han producido en el entorno urbano de Madrid.

Para este estudio se ejecutaron tres pistas de ensayo, con las siguientes prescripciones:

- Una pista de ensayo con porcentaje de cal hidratada del 2,4% y mezclado con rotobator.
- Otra pista de ensayo con porcentaje de cal hidratada del 4% y mezclado con rotobator.
- La última pista de ensayo correspondería a un espaldón del propio cuerpo de terraplén de la M-45, con porcentaje de cal hidratada del 2,4% y mezclado con pata de cabra y grada de rejás. El porcentaje de humedad utilizado era claramente superior a la óptima del Proctor, esto es el trabajo se realizaba por vía húmeda.

La fecha de realización de las tongadas de ensayo fue en los primeros 6 días del mes de Diciembre del año 1999. Se extrajeron muestras inalteradas para los ensayos el día 16 de Diciembre, tomándose las siguientes muestras:

- \* Tongada experimental mezclada con rotobator y con 4% de cal apagada
  - 2 bloques parafinados a 5 cm de profundidad
  - 2 bloques parafinados a 20 cm de profundidad
  - 1 bolsa de material alterado para la realización de 1 análisis granulométrico
- \* Tongada experimental mezclada con rotobator y con un contenido en cal del 2,4%
  - 2 bloques parafinados a 5 cm de profundidad
  - 2 bloques parafinados a 20 cm de profundidad
  - 1 bolsa para la determinación de distribución granulométrica
- \* Espaldón de relleno actual con un 2,4% de cal y mezclado con grada y pata de cabra
  - 3 bloques parafinados a 15 cm de profundidad
  - 1 bolsa para la determinación de la granulometría

Con las muestras tomadas se realizaron dos tipos de preparación:



- a) Una serie se dejó en cámara húmeda a temperatura en torno a 18° hasta el día 22, en que se procedió a su ensayo, y que correspondería por tanto a un curado de 15 días en condiciones climatológicas adversas.
- b) La otra serie se introdujo durante 7 días en estufa a temperatura de 48,9°, según procedimiento establecido por el IDOT (Illinois Department of Transportation). De acuerdo con este organismo, los resultados de la resistencia en suelos tratados con cal y curados durante un tiempo mínimo de 48 horas, a temperatura de 48,9°, pueden ser correlacionables con las resistencias en curado durante 28 días a 23,9° C. Esta correlación viene reflejada en el documento “Design Coefficients for Lime-Soil Mixtures” Research and Development Report nº 22. Springfield, IL (1970).

De acuerdo con esto, la siguiente serie de ensayos después de la permanencia de las muestras en la estufa, sería asimilable a una maduración de 1 mes.

Con las muestras de cada una de las series anteriores, se realizaron los siguientes ensayos:

- Tallado de muestra para corte directo, en célula de 10 cm de diámetro, e introducción de la misma en agua durante 24 horas, para asegurar su completa saturación. La presión de confinamiento de las mismas correspondía a un valor de 1,8 kp/cm<sup>2</sup>, aunque en principio la resistencia al corte sin drenaje debe ser independiente de la tensión vertical.

Después de las 24 horas de inundación se procedía a la rotura en ensayo de corte rápido, correlacionándose el índice CBR con la resistencia  $C_u$  en KPa mediante la correlación:

$$C_u \text{ (KPa)} = 23 * \text{CBR} \pm 1$$

Esta correlación viene citada en la Ponencia de Jiménez Salas en el Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, 1986.

- Ensayo de presión de hinchamiento en célula edométrica de 70 mm de diámetro. En estas muestras, una vez medida la presión máxima de hinchamiento, se continúa con el ensayo como un edómetro tradicional.
- Determinación del contenido en cal libre de las muestras curadas durante 15 días y con curado acelerado de 30 días, tal y como se ha expuesto anteriormente.

Posteriormente, volvieron a tomarse un nuevo conjunto de muestras en bloque a una profundidad de 10 cm desde la coronación de la tongada y en la fecha del día 17 de Enero, coincidente prácticamente con 40 días después de la colocación de las capas. Las muestras así tomadas se tuvieron 72 horas en el proceso de curado acelerado, a 48,9°, realizándose después de este proceso los siguientes ensayos:

- Determinación de la presión de hinchamiento en célula edométrica de 7 cm de diámetro.
- Determinación de la resistencia al corte sin drenaje del suelo sumergido en célula circular de 10 cm de diámetro; para inundar la muestra se dejaba la misma durante 24

horas sumergida en la célula de corte, y con una presión de confinamiento vertical de 1,8 kp/cm<sup>2</sup>.

Con esta serie se completaba, para un curado de 45 días, los valores de resistencia y expansividad, pudiendo resumirse los resultados en la **tabla 7.1**:

Muestra	Posición	Curado	C <sub>u</sub> (Kp/cm <sup>2</sup> )	CBR	P <sub>h</sub> (kp/cm <sup>2</sup> )	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>c</sub> /C <sub>s</sub>
Rotobator con 4% de cal	Prof. 5 cm	15 días	1.71	7.39	0.21	0.0386	0.002031	19.30
		30 días	1.73	7.46	0.05	-	-	-
	Prof. 20 cm	15 días	1.06	4.56	0.05	-	-	-
		30 días	2.09	9.03	0.00	-	-	-
	Prof. 10 cm	45 días	1.74	7.52	0.05	-	-	-
Rotobator con 2,4% de cal	Prof. 5 cm	15 días	1.61	6.97	0.05	0.044	0.0031	14.20
		30 días	2.01	8.70	0.21	-	-	-
	Prof. 20 cm	15 días	1.49	6.42	0.05	-	-	-
		30 días	1.57	6.79	0.10	-	-	-
	Prof. 10 cm	45 días	2.02	8.75	0.05	-	-	-
Pata de cabra con 2,4% de cal	Prof. 5 cm	15 días	1.79	7.74	0.16			
		30 días	2.16	9.36	0.05	-	-	-
	Prof. 10 cm	45 días	1.95	8.45	0.10	-	-	-

**Tabla 7.1.- Resultados tongadas experimentales realizadas la primera semana de Diciembre de 1999, en las pistas de ensayo de la M-45.**

Las conclusiones que pueden deducirse de los ensayos representados en la tabla anterior, así como de otros ensayos como los granulométricos se analizan seguidamente:

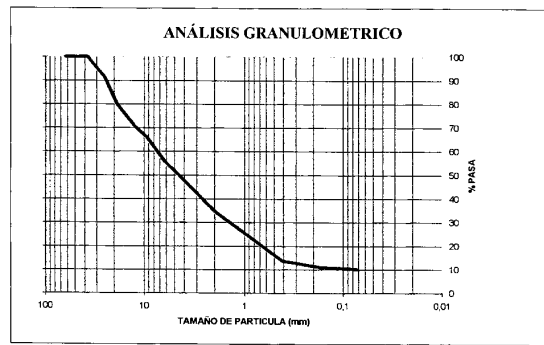
**a) Disgregación**

Debe puntualizarse respecto a la metodología para el análisis granulométrico, que se ha seguido el siguiente procedimiento:

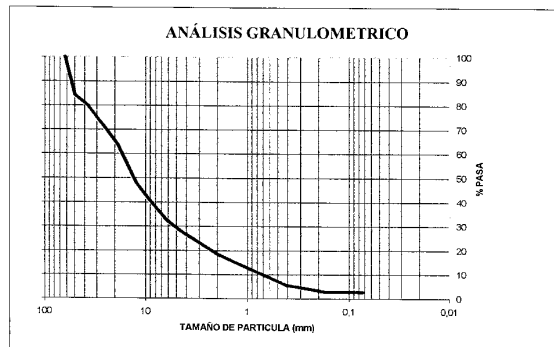
- \* Disgregación de la muestra manualmente o con martillo de goma sobre superficie blanda.
- \* Tamizado sin agua y con paso de chorro de aire caliente y vibrado.

Con esta metodología se evita la disgregación de los nódulos por efecto de un machaqueo intenso o del paso del agua en el lavado, pero la matriz tratada con cal mantiene igualmente en ambos casos una granulometría próxima al tamaño arena.

En la **figura 7.12**, pueden verse las curvas granulométricas de muestras tomadas del material disgregado con pata de cabra y grada de rejas, y de muestras del material disgregado y tratado con rotobator o estabilizadora.



**Muestra disgregada con pata de cabra**



**Muestra disgregada con rotobator**

**Figura 7.12 – Variación en la disgregación de la muestra para mezclado con pata de cabra o rotobator**

Así, por ejemplo, en la disgregación por rotobator se tendría:

- |                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| - Porcentaje que pasa # 200 ASTM (0,074 mm) | 3 al 15%  |
| - Porcentaje que pasa # 10 ASTM (2 mm)      | 18 al 28% |
| - Porcentaje que pasa # 4 ASTM (4,75 mm)    | 28 al 40% |
| - Porcentaje que pasa # 3/8" ASTM (9,52 mm) | 41 al 55% |
| - Tamaño máximo                             | 40-60 mm  |

Los valores de los porcentajes menores corresponden a la pista con mayor porcentaje de cal, en que es mayor la aglomeración de los nódulos.

Mientras que en la muestra disgregada mediante la pata de cabra, se ha obtenido:

- |                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| - Porcentaje que pasa # 200 ASTM (0,074 mm) | 10%      |
| - Porcentaje que pasa # 10 ASTM (2 mm)      | 34,5%    |
| - Porcentaje que pasa # 4 ASTM (4,75 mm)    | 50,6%    |
| - Porcentaje que pasa # 3/8" ASTM (9,52 mm) | 66%      |
| - Tamaño máximo                             | 40-80 mm |

Como puede verse, las curvas de disgregación son similares, y únicamente es mayor el tamaño máximo observable en el caso de disgregación con pata de cabra, pero igualmente dentro de los límites admisibles.

En la **foto 7.8** puede verse el aspecto del material disgregado con pata de cabra y con la referencia de la tapa de la máquina fotográfica de 5 cm de diámetro.



**Foto 7.8.- Disgregación con pata de cabra**

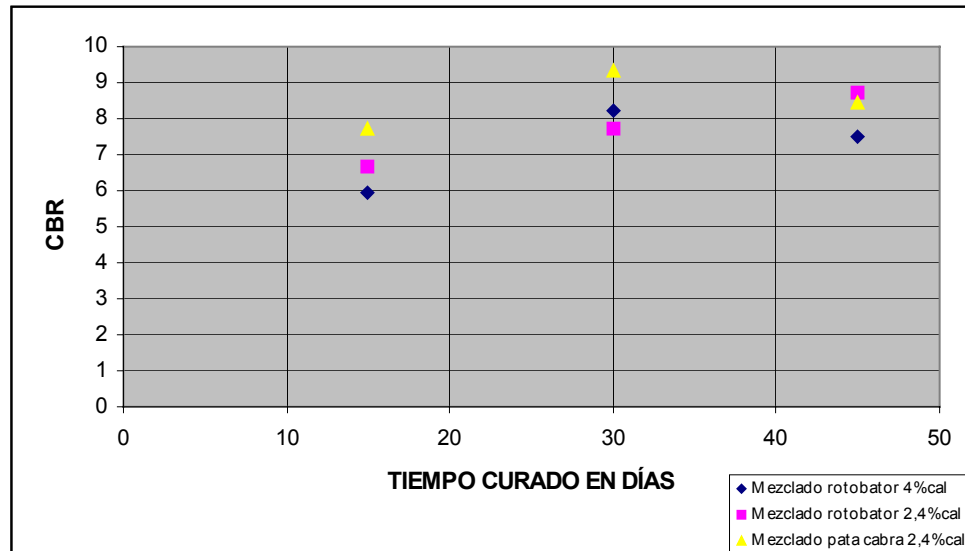
En la **foto 7.9** puede verse la disgregación alcanzada con el rotobator.



**Foto 7.9.- Disgregación con Rotobator**

b) Resistencia

En la **figura 7.13** puede verse la evolución del índice CBR según los resultados de la tabla 7.1, para los casos de mezclado con rotobator y porcentajes de cal hidratada del 2,4 y 4% y mezclado con pata de cabra y porcentaje del 2,4%. Se ha adoptado como valor representativo de la capa el valor medio entre la muestra a 5 cm de profundidad y a 20 cm, o el valor de la muestra tomada a 10 cm.



**Figura 7.13 – Variación del índice CBR deducido con el tiempo de curado para las tongadas de ensayo realizadas en Diciembre de 1999**

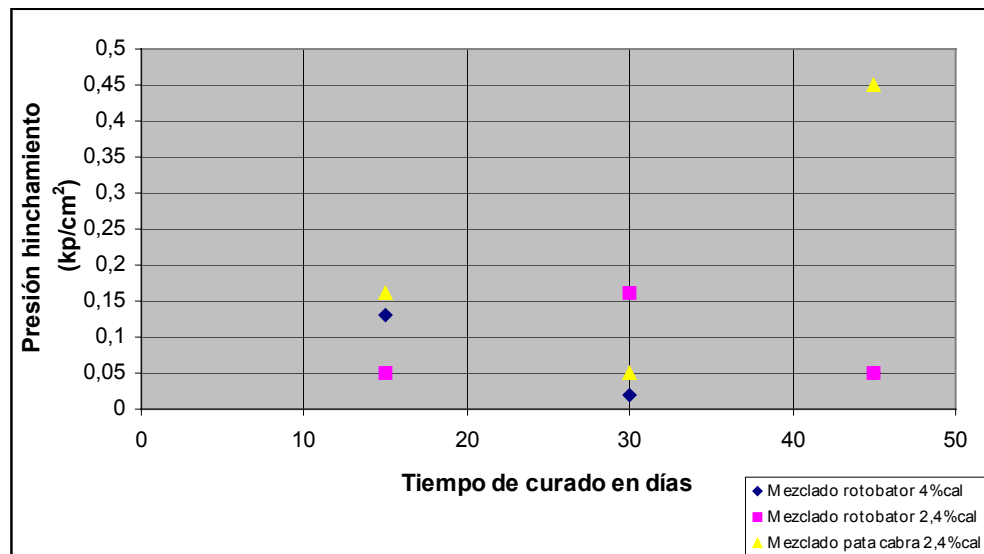
Como puede verse, en ningún caso, y probablemente debido a las condiciones climáticas adversas durante el tiempo de maduración (a pesar de haberse forzado el curado, introduciendo las muestras extraídas durante 72 horas en cámara húmeda térmica) se han obtenido valores del CBR deducidos superiores a 10.

Sin embargo, sí parece que pueda obtenerse este valor en plazo inferior a 90 días para el caso de mezclado con rotobator y 4% de cal, para las 3 pistas de ensayo, no apreciándose mejora en la resistencia por el empleo del rotobator frente al sistema de pata de cabra y grada de rejas.

***Por consiguiente, puede garantizarse que con el tratamiento de cal en porcentajes en torno al 2% se consigue a corto-medio plazo, dependiendo de las condiciones climáticas, índices CBR superiores a 10. No se observa ninguna ventaja en los resultados de la resistencia por el mezclado con el rotobator o estabilizadora.***

c) Expansividad

Tal y como puede verse en la tabla 7.1, se obtuvieron resultados de la presión de hinchamiento en todos los bloques extraídos, representándose la variación de la misma con el tiempo de curado en la **figura 7.14**. Se ha adoptado como valor representativo de la capa el valor medio entre la muestra a 5 cm de profundidad y a 20 cm, o el valor de la muestra tomada a 10 cm.



**Figura 7.14 - Evolución de las presiones de hinchamiento en las muestras tomadas de las tongadas experimentales de Diciembre de 1999**

Del análisis de los resultados pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- En el caso de porcentajes de cal hidratada del 2,4%, sigue manteniéndose un potencial expansivo muy reducido (menor de  $0,5 \text{ t/m}^2$ ) incluso para los periodos de curado de 45 días. Como en el epígrafe anterior, debe tenerse en cuenta que las condiciones climatológicas han sido adversas.
- Es mayor el potencial expansivo en el caso de las tongadas realizadas con rotobator (ya que la humedad de colocación es claramente inferior, ya que este equipo debe trabajar del lado seco), aunque con los mayores porcentajes de cal se obtiene la anulación de la expansividad a medio plazo.
- En cualquier caso, puede garantizarse a medio plazo la viabilidad del procedimiento para la estabilización del suelo en lo que se refiere a su expansividad.

#### d) Relación de índices

Se realizaron ensayos edométricos en una muestra de cada una de las pistas de ensayo para profundidad de 5 m desde coronación de tongada y periodo de curado de 15 días.

A partir de los resultados del edómetro se ha obtenido relación entre el módulo de carga  $C_c$  y el módulo de descarga  $C_s$ , que vendrían a ser proporcionales a los módulos de placa de carga de segundo a primer ciclo.

Como se ve, los resultados que se obtienen para este tiempo de curado son del orden o superiores a 15, por lo que para los ensayos de placa de carga realizados con este mismo tiempo de curación, van a obtenerse razón de módulo de ciclos del mismo orden.



Este parámetro se va modificando y disminuyendo según sigue el proceso de curado y endurecimiento.

## **7.6 Estabilidad del suelo tratado**

### **7.6.1 Condicionantes climáticos. Efecto de la helada**

#### **a) Experiencias de la M-45**

Para el tramo II de la M-45 ya se realizaron ensayos sobre el comportamiento del material tratado con cal frente a la helada.

Las propiedades de las arcillas sepiolíticas tratadas se han citado en apartados anteriores.

Para realizar este estudio, se compactaron muestras con un porcentaje de cal del 2,4%, y humedad del 35-40%, correspondiente a 4 puntos por encima del límite plástico. La energía de compactación corresponde a la del Proctor normal.

El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Se prepararon 9 testigos para la realización de roturas a 3 fechas, y las siguientes condiciones de curado:
  - \* Curado de las muestras en cámara húmeda, mantenida a 18° C, y realización de ensayos a los 2, 15 y 30 días desde la fabricación de las mismas.
  - \* Muestras introducidas en frigorífico a temperatura de 2° C, hasta el momento de la rotura, a 2, 15 y 30 días.
  - \* Muestras introducidas en frigorífico nada más realizadas y durante 15 días, para posteriormente mantenerlas en cámara húmeda a 18° C durante 2, 15 y 30 días.

El primer caso consistiría en un curado bajo condiciones normales de laboratorio, y dentro del rango recomendado por varios métodos de dimensionado, de obtención del porcentaje de cal, que no consideran el curado acelerado. Por tanto, las resistencias obtenidas en este caso, marcarían la evolución normal del suelo tratado.

El segundo caso correspondería a un proceso forzado de paralización del curado por baja temperatura, estando la misma controlada en la cámara frigorífica a un valor de + 2°. En el momento por tanto de realizar la rotura, se tendría la curva correspondiente a la maduración para estas condiciones próximas a la helada.

El tercer caso se realizó para permitir analizar si, de acuerdo con Thompson et al., una vez pasado el periodo frío, se produce una recuperación de resistencias en la mezcla de suelo-cal, y que por tanto la resistencia final una vez pasadas las condiciones

climatológicas adversas, es la misma que se obtendría en los materiales curados bajo condiciones favorables.

Los resultados de estos ensayos se resumen en la **tabla 7.2**

**Tabla 7.2.- Efecto de la helada**

Condiciones Ambientales	Código	Maduración	Resistencia		Presión de hinchamiento (Kp/cm <sup>2</sup> )
			C <sub>u</sub> (Kp/cm <sup>2</sup> )	CBR	
Habitación térmica (T <sub>0</sub> media 18°C)	991527A	2 Días	1.76	7.62	0.10
	991527B	15 Días	1.45	6.28	0.31
	991527C	30 Días	2.04	8.82	0.31
Frigorífico (T <sub>0</sub> media 2°C)	991527E	2 Días	2.03	8.79	0.31
	991527F	15 Días	1.41	6.08	0.61
	991527G	30 Días	1.45	6.24	1.32
15 Días en frigorífico a T <sub>1</sub> media 2°C y posterior maduración en habitación térmica (T <sub>0</sub> media 18°C)	991527I	17 Días	1.52	6.56	0.51
	991527J	30 Días	1.33	5.75	1.63
	991527K	45 Días	1.32	5.71	0.61

Y por tanto, se tendrían las siguientes conclusiones:

- La resistencia al corte sin drenaje (C<sub>u</sub>) alcanza valores de índice CBR = 6 a 9, tanto para una maduración en condiciones ambientales frías como cálidas, sin embargo sí se observa un descenso con relación a muestras que han madurado 15 días en condiciones muy frías (T<sub>media</sub> = 21°C) y posteriormente una maduración 2, 15 y 30 días en habitación térmica. En estos casos los valores obtenidos del índice CBR decrecen de 6 a 5.
- Con relación a los hinchamientos, se observan claramente como para maduración en habitación térmica se obtienen valores de hinchamiento que no superan los 0,3 Kp/cm<sup>2</sup>; sin embargo, para maduración en condiciones ambientales más frías se produce un hinchamiento muy acusado hasta, de 1,63 Kp/cm<sup>2</sup>. Este hecho se puede atribuir a que no se ha llegado a fijar la cal lo suficiente a la arcilla produciéndose un hinchamiento de la cal apagada.
- En conclusión, el efecto de la actuación de la helada sobre las muestras en proceso de maduración es paralizar la actuación de la cal, en lo que se refiere a la formación de sales cristalinas e hidratación de coloides, con lo que los valores del índice C.B.R. no aumentan, pero lo que es peor, las presiones de hinchamiento se obtienen similares a las correspondientes al suelo no tratado.



**b) Experiencias de ensayos realizados con arcillas del Terciario Andaluz**

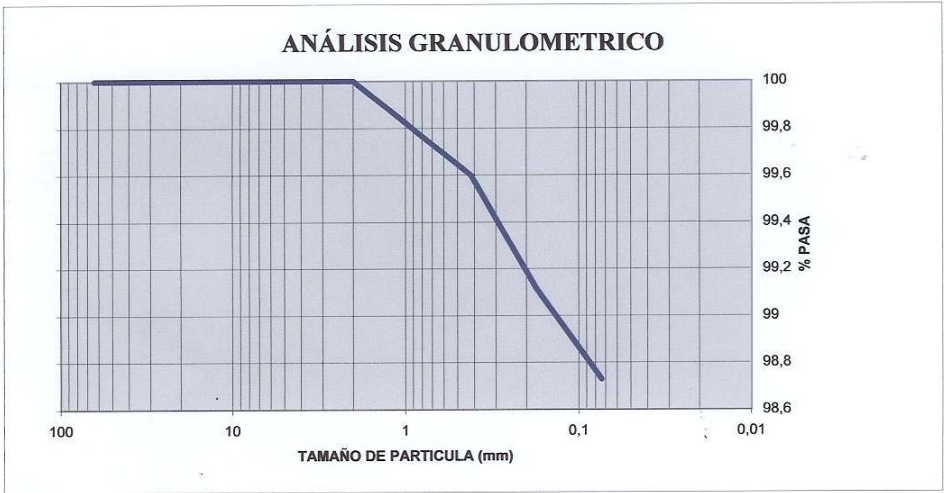
Considerando no sólo el efecto de la helada, sino también la evolución de la resistencia con la temperatura, se realizaron 32 probetas, mezclando arcillas del Terciario andaluz con distintos porcentajes de cal y de agua, y de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Se realiza la identificación del material a tratar, así como sus características de compactación en base a la realización de granulometrías, límites de Atterberg y ensayo de compactación Proctor Normal en el molde de 3,7 cm de diámetro.
- Se añaden porcentajes de cal del 2% ( bandejas denominadas como A) y del 4% (bandejas denominadas como B) y un porcentaje de agua igual a la óptima Proctor anteriormente determinada más la mitad en peso del porcentaje de cal que se añade en cada caso.
- Se realizaron las probetas y se dejan curar y madurar a las siguientes condiciones de temperatura, y en todos los casos en ambiente saturado de humedad (cámara húmeda térmica):
  - \* Temperatura de 2-5° (Denominado como nevera)
  - \* Temperatura de 8-12° (Denominado como cámara húmeda)
  - \* Temperatura de 18-22° (Denominado como zona cálida)
  - \* Temperatura de 50° (Denominado como estufa)
- Con las muestras así preparadas, se rompen a los siguientes tiempos desde su preparación:
  - \* 3 días
  - \* 7 días
  - \* 30 días
  - \* 90 días

De acuerdo con los puntos anteriores, las características de identificación de este material son:

- Granulometría:

En la **figura 7.15** puede verse la curva granulométrica del material ensayado.



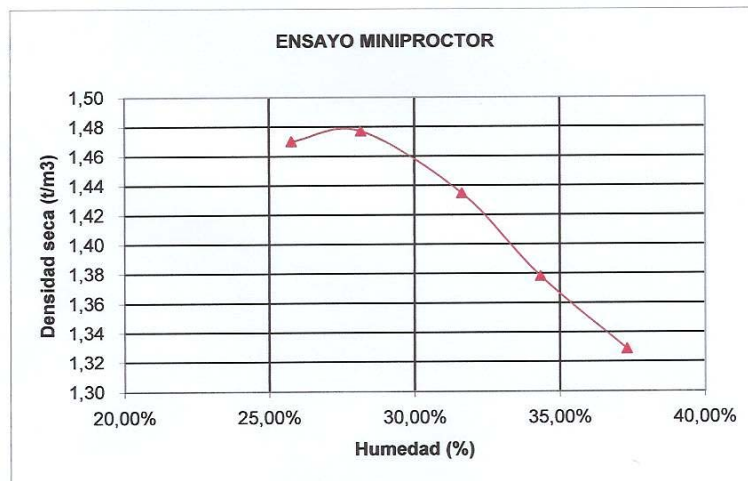
**Figura 7.15.- Curva granulométrica del material ensayado**

- Plasticidad:

Límite líquido	LL = 59%
Límite plástico	LP = 39%
Índice de plasticidad	IP = 20%

- Compactación:

Se ha obtenido una densidad máxima del Proctor Normal de  $\gamma_p = 1,48 \text{ t/m}^3$  para una humedad óptima del 28,15%, tal y como puede verse en **la figura 7.16**.



**Figura 7.16 – Gráfico de compactación con la energía del Proctor Normal**

Los resultados de estos ensayos se incluyen en las tablas 7.3 para el porcentaje de cal del 2%, y en la **tabla 7.4** para el porcentaje de cal del 4%

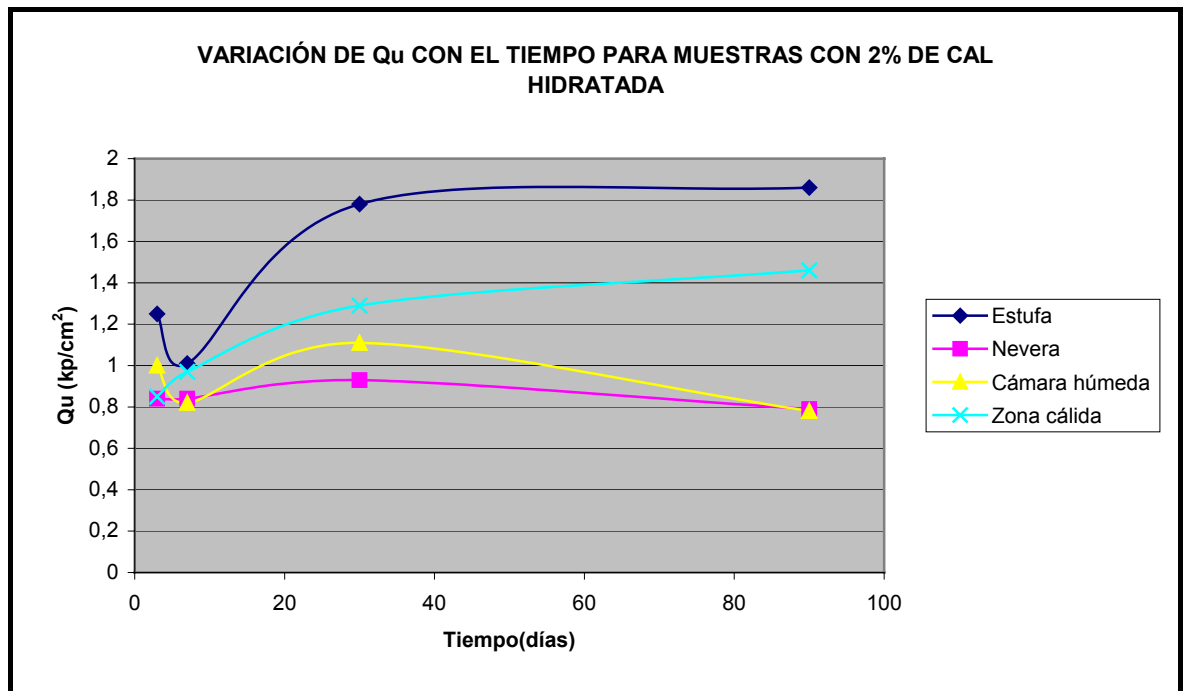
Casos	Temperatura curado	Tiempo maduración	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
Estufa	50°	3 días	1.86	1.25
Estufa	50°	7 días	1.87	1.01
Estufa	50°	30 días	1.85	1.78
Estufa	50°	90 días	1.85	1.86
Nevera	2-5°	3 días	1.86	0.84
Nevera	2-5°	7 días	1.86	0.84
Nevera	2-5°	30 días	1.85	0.93
Nevera	2-5°	90 días	1.89	0.79
Cámara húmeda	18-22°	3 días	1.87	1.00
Cámara húmeda	18-22°	7 días	1.89	0.82
Cámara húmeda	18-22°	30 días	1.85	1.11
Cámara húmeda	18-22°	90 días	1.88	0.78
Zona ambiente	8-12°	3 días	1.85	0.85
Zona ambiente	8-12°	7 días	1.86	0.97
Zona ambiente	8-12°	30 días	1.89	1.29
Zona ambiente	8-12°	90 días	1.89	1.46

**Tabla 7.3.- Variación de Q<sub>u</sub> con el tiempo para muestras con 2% de cal hidratada**

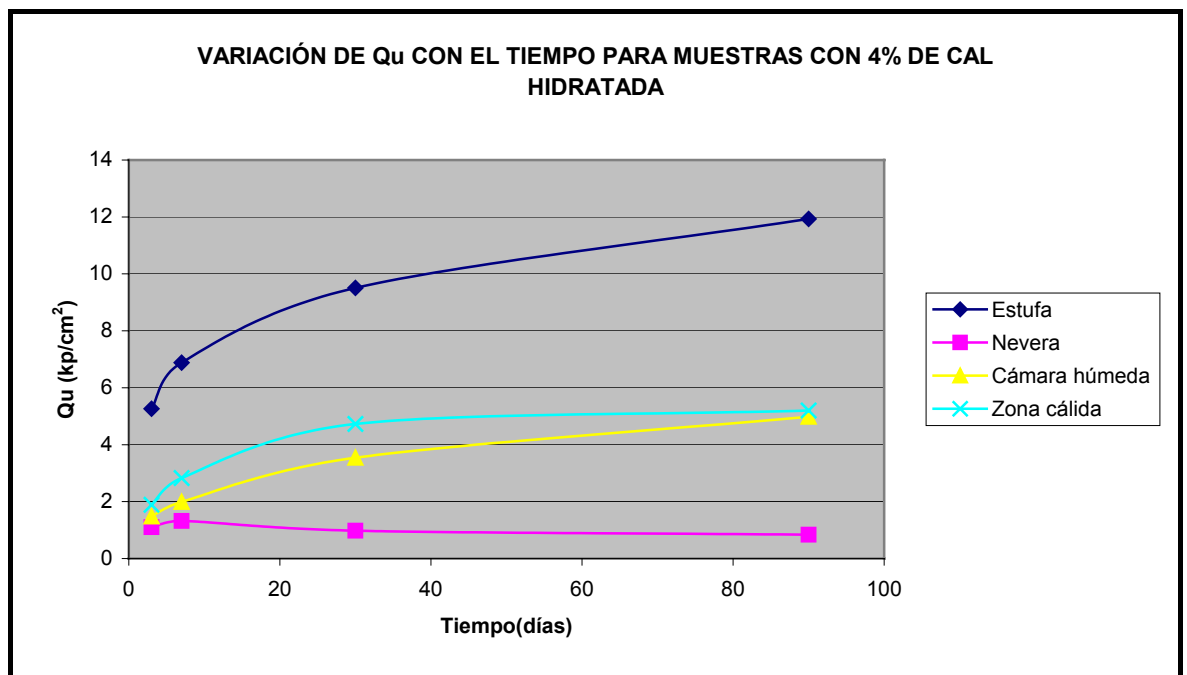
Casos	Temperatura curado	Tiempo maduración	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
Estufa	50°	3 días	1.85	5.26
Estufa	50°	7 días	1.82	6.88
Estufa	50°	30 días	1.82	9.51
Estufa	50°	90 días	1.81	11.93
Nevera/	2-5°	3 días	1.66	1.10
Nevera	2-5°	7 días	1.85	1.32
Nevera	2-5°	30 días	1.83	0.98
Nevera	2-5°	90 días	1.86	0.84
Cámara húmeda	18-22°	3 días	1.85	1.48
Cámara húmeda	18-22°	7 días	1.85	1.99
Cámara húmeda	18-22°	30 días	1.82	3.54
Cámara húmeda	18-22°	90 días	1.88	4.98
Zona ambiente	8-12°	3 días	1.85	1.89
Zona ambiente	8-12°	7 días	1.85	2.83
Zona ambiente	8-12°	30 días	1.89	4.73
Zona ambiente	8-12°	90 días	1.86	5.20

**Tabla 7.4.- Variación de Q<sub>u</sub> con el tiempo para muestras con 4% de cal hidratada**

De los resultados obtenidos, en las **figuras 7.17 y 7.18** se ha representado la evolución de la resistencia a compresión para porcentajes de cal hidratada del 2 y 4%.



**Figura 7.17 – Variación de la resistencia a compresión con el tiempo**



**Figura 7.18 – Variación de la resistencia a compresión con el tiempo**

Como puede verse, de los gráficos anteriores podrían deducirse las siguientes conclusiones:

- Las resistencias alcanzadas son mayores cuanto más elevada sea la temperatura de curado. En el caso de curado en nevera, o cámara húmeda con temperatura inferior a

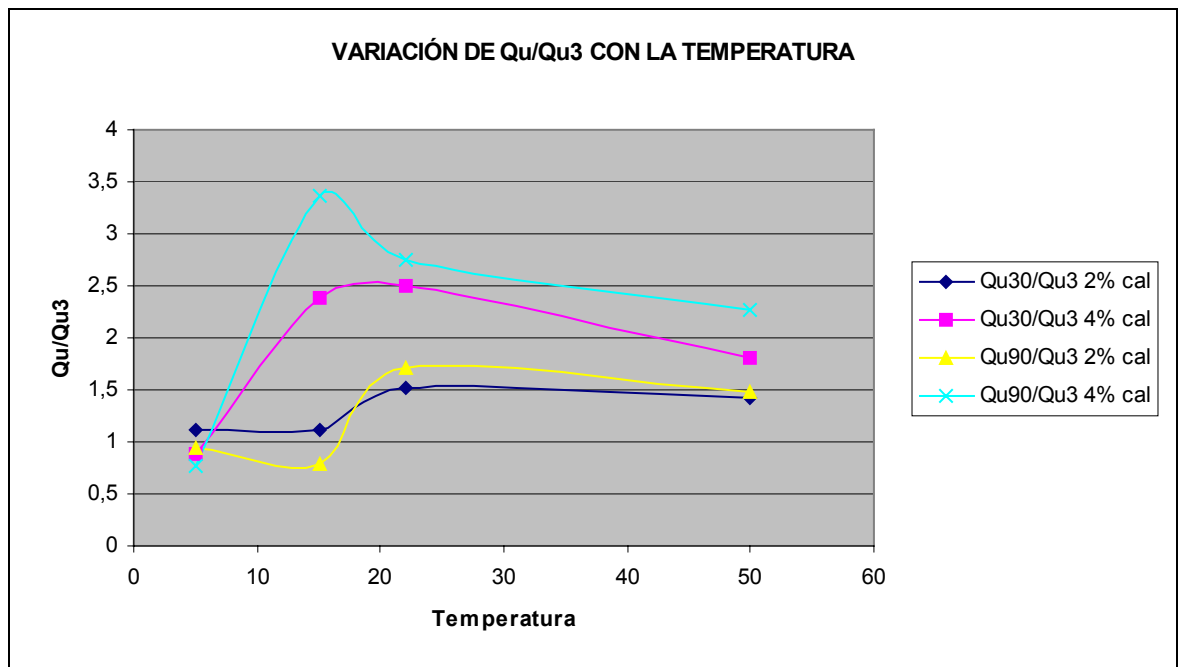
15°, prácticamente se mantiene constante la resistencia a partir del séptimo día después de la fabricación de la rotura incluso con una pérdida inicial en el caso de los porcentajes más bajos de cal.

*Por consiguiente, el efecto pernicioso de las bajas temperaturas es más acusado en el endurecimiento secundario que se produce a partir de una semana después de colocada la capa que en el propio fraguado de la misma.*

- La resistencia máxima que se alcanza con un curado y madurado a 50° puede ser del orden de 3 a 10 veces superior a la que se alcanza con un curado a temperaturas comprendidas entre 2 y 5°. Esta relación de resistencias se alcanza prácticamente a partir de la semana desde la fabricación de las probetas manteniéndose la misma durante todo el endurecimiento. Para el caso de porcentajes más bajos de cal se retrasa el comienzo de la relación de aumentos de resistencias y así esta relación sigue aumentando hasta prácticamente 30 días.

Una forma más gráfica de ver el incremento de resistencia debido a las condiciones de temperatura en el madurado y curado, sería representar la variación con el tiempo de la relación entre la resistencia a compresión del material tratado en un instante de tiempo, y un valor de la resistencia inicial que podría ser la correspondiente a 3 días.

Se ha realizado este gráfico, representando la relación entre la resistencia a 30 días y la resistencia a 3 días, y la resistencia a 90 días con la resistencia a 3 días, para los dos porcentajes de cal y en función de la temperatura de curado y maduración (**figura 7.19**).



**Figura 7.19 – Variación de la relación entre la resistencia a compresión a 30 y 90 días respecto a la de 3 días en función de la temperatura y para varios porcentajes de cal**

Del gráfico anterior pueden deducirse las siguientes conclusiones, ya reseñadas en el punto anterior:

- Por debajo de 10° de temperatura, no hay prácticamente ninguna mejora con el tiempo de la resistencia del suelo tratado.
- Para temperaturas comprendidas entre 15-20°, para porcentajes altos de cal (en torno al 4%) y de 20-25° para porcentajes bajos de cal (en torno a 20°). Las condiciones ambientales óptimas para la colocación de un suelo tratado de forma que se produzca el máximo aumento de resistencia van a encontrarse en el rango de 15-25°, con valores más bajos cuanto mayor sea el porcentaje de cal.
- Por encima de 25° no hay ostensibles variaciones en las resistencias finales alcanzadas.

### **7.6.2 Condicionantes climáticos. Efecto de la desecación**

En el Tramo II de la M-45, parte de la colocación de la mezcla de suelo y cal se realizó a partir de mediados del mes de Agosto, en unas condiciones climáticas cálidas y secas, como corresponde al estiaje de la zona central, donde se sitúa Madrid.

Considerando esto, se analizó cuál es el efecto de la exposición a temperaturas elevadas y secas de muestras que habían estado en una situación de curado normal durante 15 días.

Los ensayos, por tanto, llevaban las siguientes fases:

- Se determinaban las propiedades de plasticidad de la arcilla, y en base a esto se fijaba el contenido de humedad de la mezcla, siempre superior a la óptima del Proctor normal.
- Se realizaban probetas con un porcentaje de cal hidratada del 2,4 y del 4,8%, utilizando un molde Miniproctor de 3,6 cm de diámetro y 7,2 cm de altura y la energía de compactación del ensayo Proctor normal.
- Se preparaban las probetas y se dejaban curar al aire, con una temperatura media durante el periodo estival comprendida entre 20 y 25°, y humedad relativa igual o inferior al 60%.
- De las probetas expuestas se realizaban ensayos de resistencia a compresión a los 7, 15 y 30 días, comprobándose además de las probetas rotas cuál es el porcentaje de humedad total (incluyendo el agua que se haya combinado con el hidróxido cálcico, por lo que el secado se realizaba por métodos enérgicos en microondas).

Los resultados obtenidos se representan en la tabla adjunta:

Efecto de la desecación

Ensayos de identificación						Compresión simple con molde Harvard (Kp/cm²)							
Material	LL	LP	IP	SO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	% Cal	Humedad* de mezclado	7 Días		15 Días		30 Días	
								q <sub>u</sub>	W%	q <sub>u</sub>	W%	q <sub>u</sub>	W%
Peñuelas sepiolíticas	87	64	23	0.03	21.8	2.4	55%	2.65	61.5	3.01	61	0.20	39.6
						4.8	57.%	3.13	63.7	3.81	60	1.27	44

\* Medida con secado al aire.

Del análisis de los resultados de los ensayos, pueden deducirse los siguientes puntos:

- El mantenimiento al aire de las probetas produce una pérdida de humedad del orden del 20%, más ostensible entre 15 y 30 días, probablemente porque vaya aumentando la permeabilidad al aire, al ir incrementándose la porosidad con la evaporación.
- El efecto de pérdida de humedad en el material tratado produce una clara pérdida de resistencia.
- La pérdida de resistencia de mezcla expuesta a condiciones extremas de desecación **no tiene porqué producirse inmediatamente**, sino que la misma puede corresponder a periodos desde la compactación de la tongada superiores a 15 días (y por tanto ir provocando a partir de este momento una pérdida progresiva de capacidad portante de la plataforma).

No se han realizado ensayos específicos dentro de los trabajos realizados para esta tesis sobre el efecto de la desecación, debido a que era conocido su efecto de obras anteriores en que se había utilizado suelo tratado.

En cualquier caso, y como se ha indicado en el apartado anterior, en los ensayos realizados las pérdidas de resistencia a largo plazo no vienen asociadas al efecto de la desecación, ya que se mantiene el valor de la densidad aparente, esto es, no hay pérdida de agua entre las situaciones iniciales y a 90 días.

### 7.6.3 Efecto de los sulfatos

Dentro del conjunto de ensayos realizados para el tratamiento de suelos con cal, se ha prestado especial atención al problema de los sulfatos.

Como se ha indicado anteriormente, pueden producirse dos causas de daños por el efecto de los sulfatos al terreno tratado con cal:

- Que el terreno que vaya a tratarse con cal contenga sulfatos.
- Que el terreno tratado con cal, aunque no contenga sulfatos, se sature posteriormente con aguas selenitosas procedentes de otras zonas.

#### 7.6.3.1 Comportamiento de suelo conteniendo sulfatos tratado con cal

Correspondería a la primera de las dos posibles causas de afección por sulfatos que se han comentado en el apartado anterior.

El límite de contenido en sulfatos en el terreno a partir del cual pueden producirse daños o perturbaciones en el terreno tratado se fija, como ya se ha citado, por parte de muchos autores entre el 0,2% al 0,3% de  $\text{SO}_3$ . Sin embargo, se ha utilizado también de forma habitual una limitación en torno al 2% de  $\text{SO}_3$ , que es la que normalmente se considera admisible para los suelos tratados con cemento.

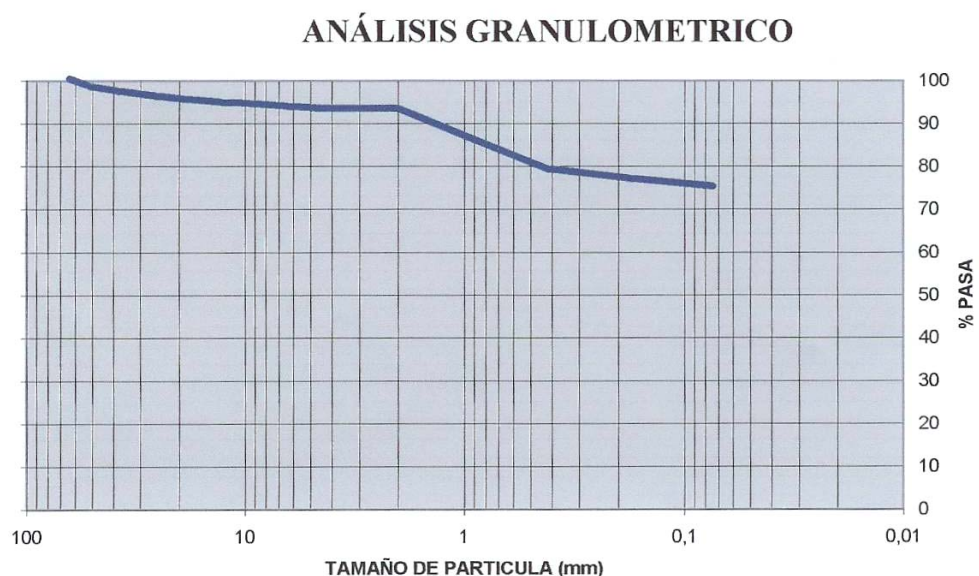
#### a) Metodología de los ensayos realizados

Para la realización de estos ensayos, se han realizado mezclas de arcillas con 4 valores crecientes en porcentaje de margas yesíferas, obteniéndose las siguientes propiedades en la mezcla:

- Material arcilloso  

Límite líquido:	57,4
Límite plástico:	32,1
Índice de plasticidad	25,3

Granulometría (**figura 7.23**)



**Figura 7.23 – Distribución granulométrica del material ensayado**



El material no contiene sulfatos.

Al realizar la mezcla de la arcilla anterior con las margas yesíferas, se modifican sus propiedades, aumentando la plasticidad de acuerdo con los siguientes valores:

Bandeja	% SO <sub>3</sub>	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	Humedad óptima P.M.	Densidad máxima P.M. (g/cm <sup>3</sup> )
A	1.10	63.54	33.93	29.62	16%	1.55
B	2.06	64.36	33.48	30.87	17%	1.75
C	2.95	65.93	32.40	33.53	18%	1.74
D	6.49	68.78	31.67	37.11	15%	1.74

Los porcentajes de tratamiento de cal para cada bandeja han sido del 3 y del 6%.

Las muestras así realizadas se han mantenido en cámara húmeda a temperatura de 10° **para facilitar la formación de ettringita.**

Las muestras se prepararon el 21 de Noviembre del año 2.003, y se rompieron en las siguientes fechas:

- El 8 de Enero de 2004, **esto es, con un período de maduración de 48 días**
- El 11 de Noviembre de 2004, **esto es con un período de maduración de 356 días**
- El 18 de Mayo de 2006, **esto es con un período de maduración de 909 días**

La temperatura de curado de las probetas, fue la temperatura ambiente, de una zona cubierta pero no climatizada, y por tanto, experimentarían los ciclos térmicos de los cambios climáticos anuales en un área de clima continental como es Castilla la Mancha.

#### b) Resultados de los ensayos

Los valores de la resistencia a compresión simple obtenidos con las distintas muestras han dado los valores del siguiente cuadro, en que igualmente se ha incluido el porcentaje de sulfatos determinado en laboratorio.

Sulfatos % SO <sub>3</sub>	Resistencia a compresión a 48 días (kp/cm <sup>2</sup> )		Resistencia a compresión a 356 días (kp/cm <sup>2</sup> )		Resistencia a compresión a 909 días (kp/cm <sup>2</sup> )	
	Con 3% cal	Con 6% cal	Con 3% cal	Con 6% cal	Con 3% cal	Con 6% cal
1,10	4,86	7,58	0,15	0,21	0,14	0,21
2,06	5,34	6,61	0,09	0,46	0,21	0,21
2,95	4	5,73	0,14	0,30	0,12	--
6,49	3,75	8,26	0,11	0,09	0,07	--

Resultados que quedarían reflejados en los gráficos de las **figuras 7.24, 7.25, 7.26, 7.27 y 7.28.**

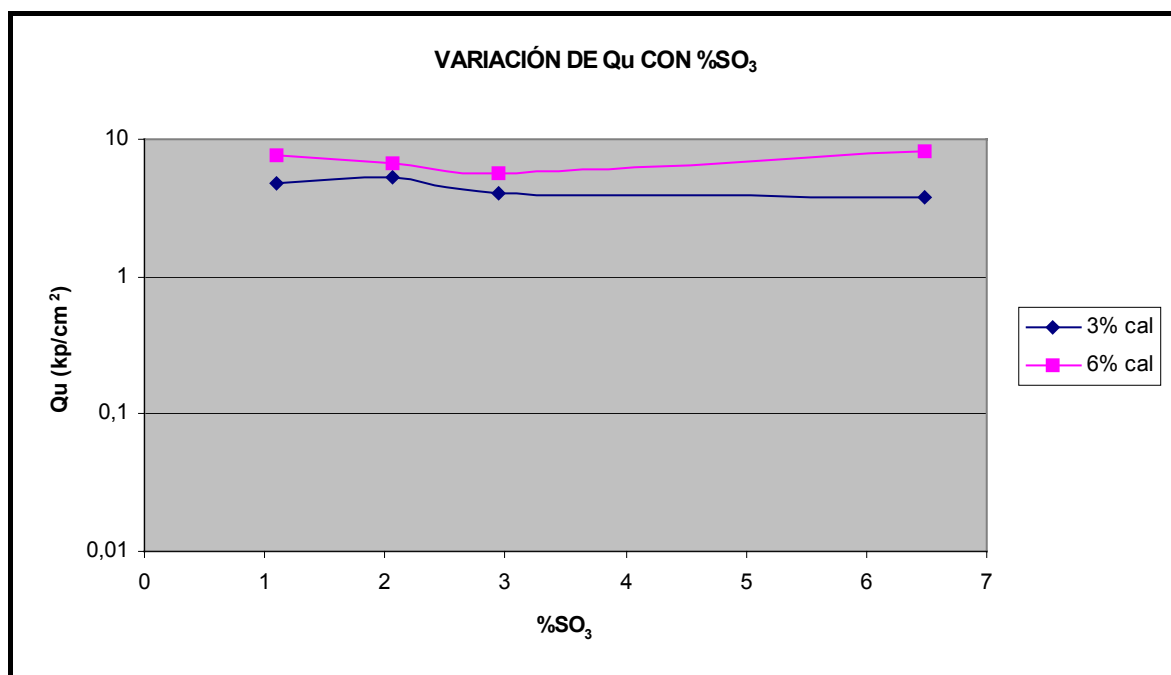


Figura 7.24.- Variación de  $Q_u$  con el contenido en sulfatos para roturas a 48 días

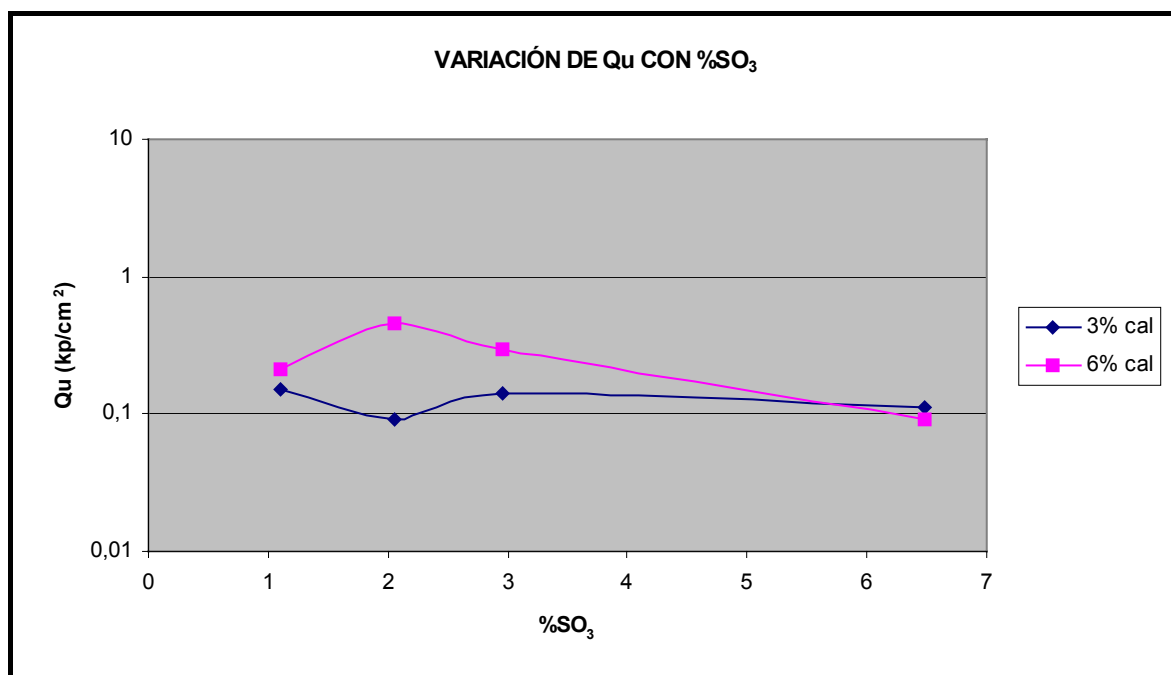


Figura 7.25.- Variación de  $Q_u$  con el contenido en sulfatos para roturas a 356 días

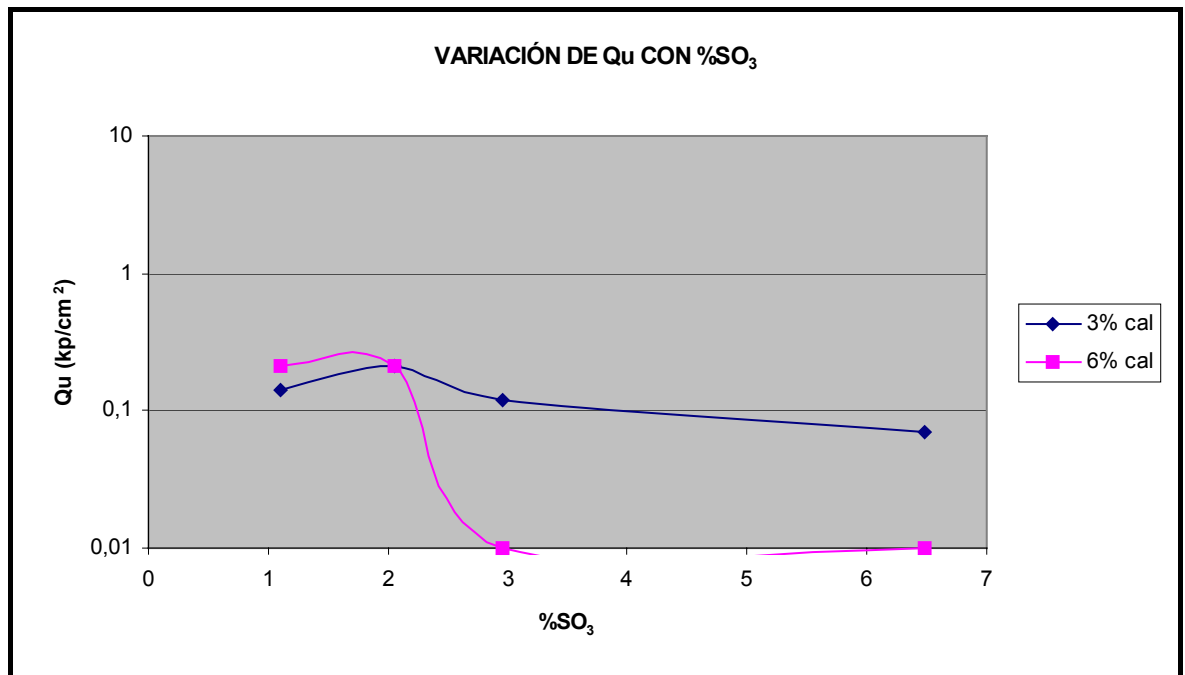


Figura 7.26.- Variación de  $Q_u$  con el contenido en sulfatos para roturas a 909 días

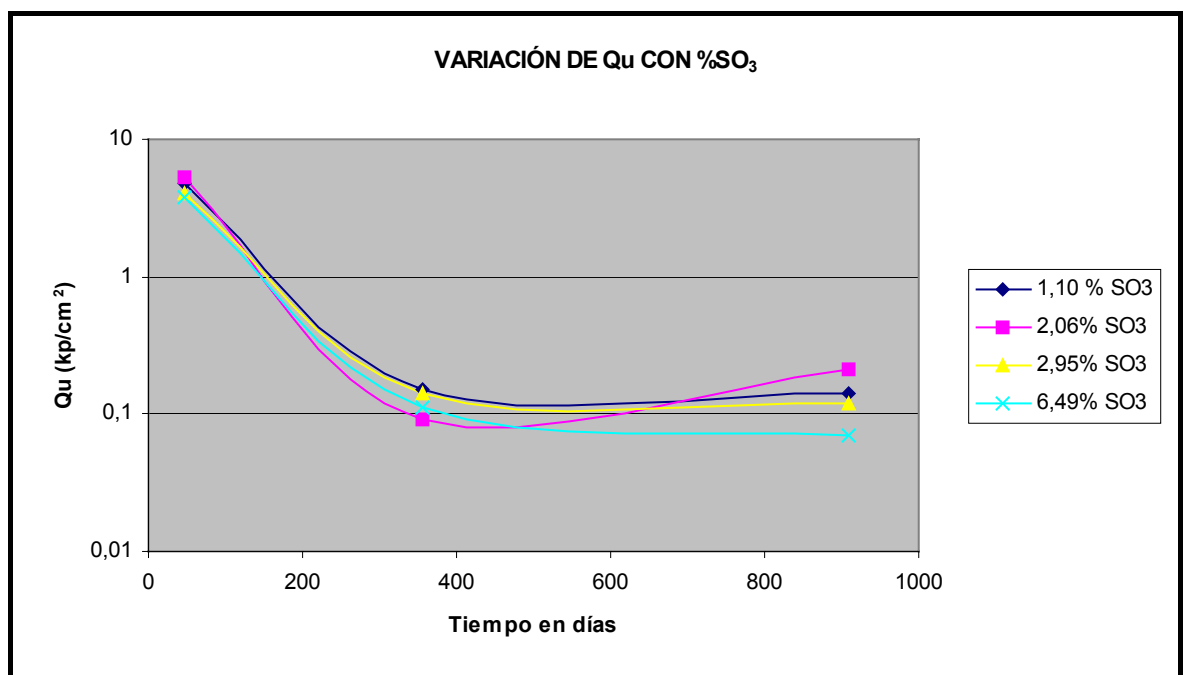
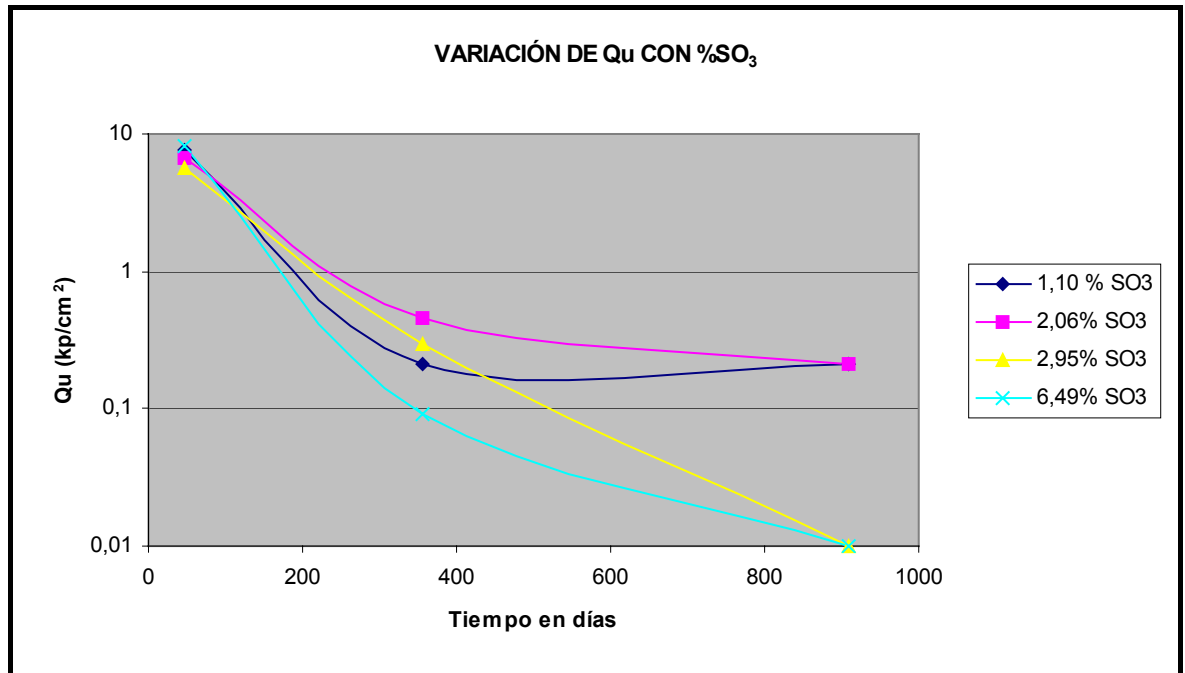


Figura 7.27.- Evolución de  $Q_u$  para un 3% de cal y distintos porcentajes de sulfatos



**Figura 7.28.- Evolución de  $Q_u$  para un 6% de cal y distintos porcentajes de sulfatos**

Y por tanto, se tendrían las siguientes conclusiones:

- Para contenido en sulfatos (medidos en porcentajes de  $SO_3$ ), superiores al 6%, se tiene una pérdida total de la resistencia a largo plazo, correspondientes a períodos superiores a 1 año.
- Para contenido en sulfatos (medidos en porcentajes de  $SO_3$ ), iguales o inferiores al 2%, se presenta una pérdida de resistencia durante el primer año, pero que ya se mantiene a lo largo del tiempo.
- La pérdida de resistencia es tanto o más acusada cuanto mayor sea el contenido de cal hidratada del tratamiento.
- Combinando el efecto favorable para la resistencia del mayor contenido en cal con el efecto desfavorable del mayor porcentaje de sulfatos, se obtiene que las resistencias a corto (45 días) a medio plazo (1 años) son prácticamente las mismas aunque se aumente el porcentaje de cal.
- En base a esto, parece que en suelos con porcentajes de sulfatos medidos en  $SO_3$  inferiores al 2%, podrían realizarse tratamientos con cal hidratada siempre que la dotación en peso sea igual o inferior al 2%, con lo que se obtendrían unos valores de la resistencia, que aunque reducidos serán estables en el tiempo (no existirá posibilidad de formación de ettringita por haberse fijado la cal hidratada por los minerales arcillosos del suelo a tratar).

*7.6.3.2 Comportamiento de suelo tratado con cal en el caso de su saturación posterior con agua conteniendo sulfatos*

Para que el agua selenitosa ataque a la mezcla de suelo con cal es necesario que el material tratado presente cal libre, así como que su porosidad al aire sea lo suficientemente elevada para permitir que el agua pueda infiltrarse dentro de la estructura del suelo tratado.

A la vista de esto, el riesgo de perturbación del suelo tratado con cal puede depender no solo del contenido en cal del tratamiento sino también del período de maduración, si se entiende que la finalidad de este último es garantizar un mejor mezclado al permitir una mayor disgregación del material y una mejor compactación al disminuir la plasticidad del suelo.

*a) Metodología de los ensayos*

Se han considerado porcentajes de cal para el tratamiento del 2.4, 6 y 8%.

En el caso de que no se realice maduración (melowing) se le añade al material un porcentaje de humedad igual a la óptima del Proctor Normal más la mitad adicional del porcentaje de cal añadido.

En el caso de que se realice la maduración, el proceso de mezclado es el siguiente:

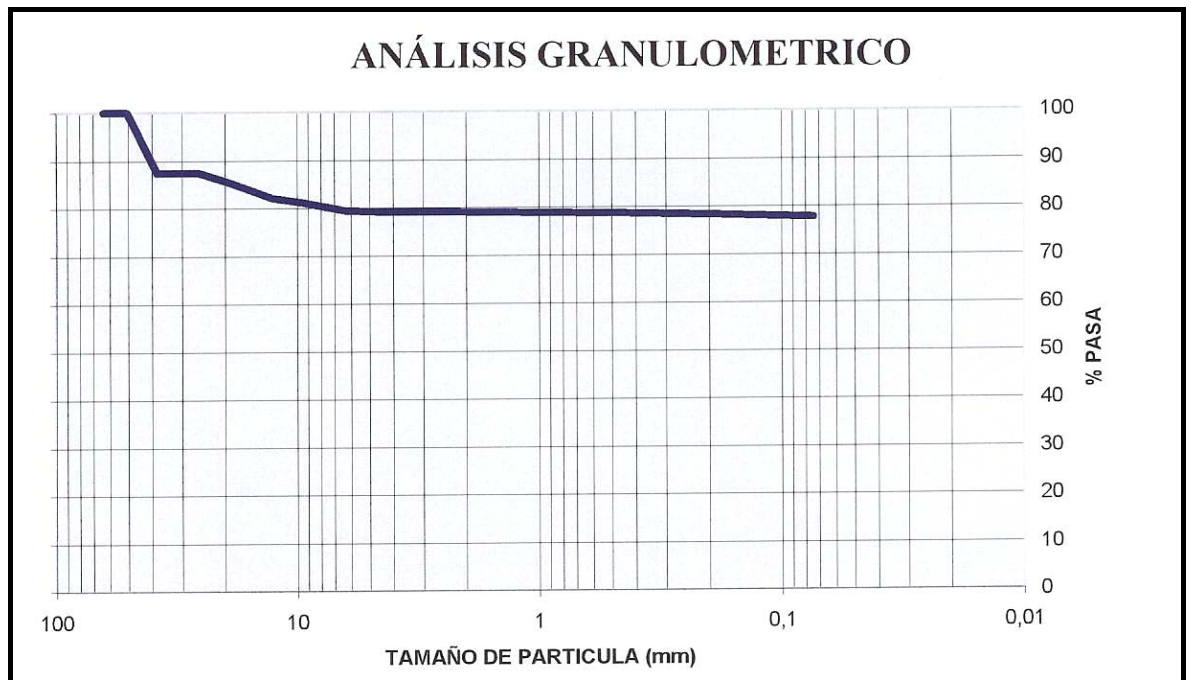
- Se añade el porcentaje total de la cal del tratamiento
- Se añade la mitad del porcentaje de agua correspondiente a la humedad óptima del Proctor Normal
- Se mezcla y se deja madurar en la cámara húmeda durante un período de 7 días
- Pasados los 7 días se añade la otra mitad del porcentaje de agua correspondiente a la humedad del Proctor Normal más la mitad del porcentaje de cal añadido.
- Se preparan las probetas

Mediante este procedimiento puede esperarse que en el momento de elaborarse las probetas se haya reducido o eliminado el porcentaje de cal libre susceptible de reaccionar posteriormente con los sulfatos. Por otro lado, el material madurado presentará una menor plasticidad y por tanto, su densidad de compactación deberá ser superior a la que corresponde al material sin madurar, esto es, deberá obtenerse una menor porosidad al aire.

El material al que se realiza el tratamiento está constituido por una arcilla de alta plasticidad del Mioceno Andaluz, en la denominada como Facies de Gibraltar. Sus propiedades geotécnicas serían:

- |   |                        |         |
|---|------------------------|---------|
| - | Límite líquido:        | LL = 60 |
| - | Límite plástico:       | LP = 38 |
| - | Índice de plasticidad: | IP = 23 |

En la **figura 7.29** puede verse la curva granulométrica del material utilizado para la mezcla.



**Figura 7.29 – Distribución granulométrica del material ensayado**

Del ensayo de compactación realizado en el material sin madurar se ha obtenido una humedad óptima del 25% con una densidad máxima Proctor Normal de  $1,53 \text{ Tn/m}^3$ .

Se realizaron un total de 48 probetas, 24 con tratamiento de maduración y 24 sin el citado tratamiento, manteniéndose las mismas en un curado de 7 días en cámara húmeda térmica a temperatura de  $50^\circ$ . Posteriormente se procedió a la continuación del curado y endurecimiento de las mismas **sumergidas en agua destilada o en agua cargada de sulfatos durante los tiempos correspondientes en el protocolo del ensayo.**

De acuerdo con el ensayo realizado, el porcentaje en sulfatos del agua preparada **era de**  $190 \text{ mg/l}$  ( $1,9\%$  de  $\text{SO}_3$ ).

En ambos casos, la temperatura del agua se mantenía a  $8-10^\circ$  para facilitar la formación de ettringita.

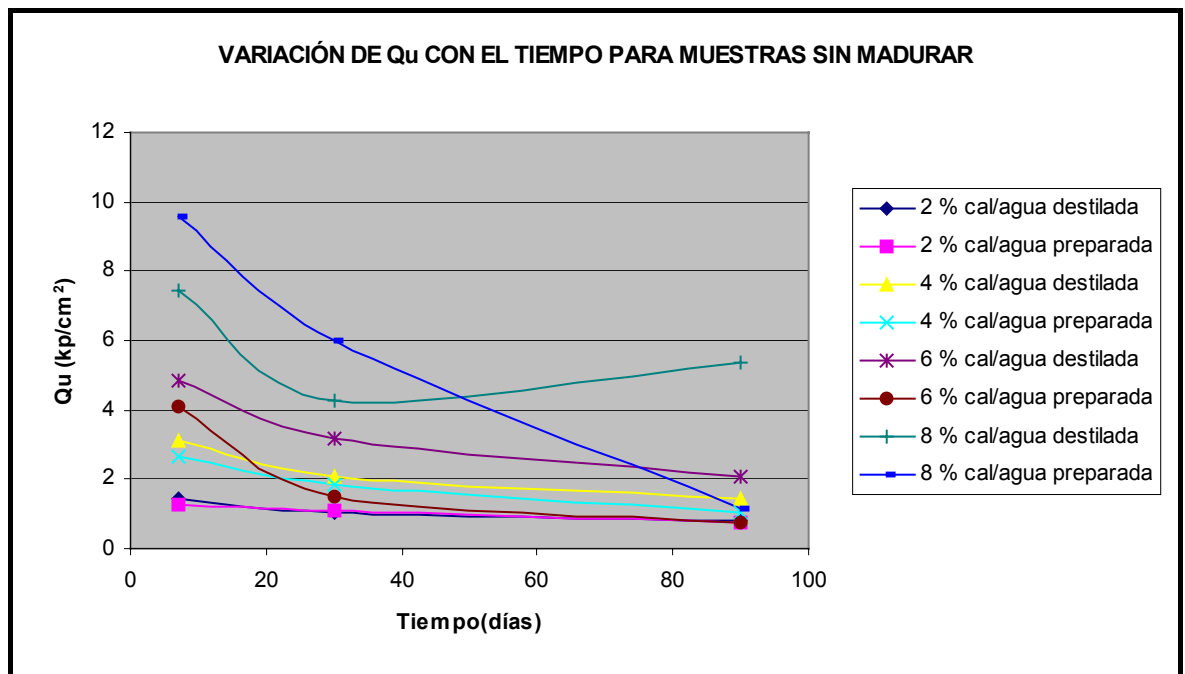
*b) Resultados de los ensayos*

Los resultados de la evolución de la resistencia a compresión con el tiempo, en función de distintos porcentajes de cal y de si se ha realizado maduración previa o no, se incluyen en las siguientes tablas y gráficos:

\* Muestras sin madurar

Tiempo (días)	Resistencia a compresión $Q_u$ (kp/cm <sup>2</sup> )							
	2% de cal		4% de cal		6% de cal		8% de cal	
	Agua destilada	Agua preparada	Agua destilada	Agua preparada	Agua destilada	Agua preparada	Agua destilada	Agua preparada
7	1,43	1,29	3,11	2,65	4,87	4,08	7,47	9,6
30	1,06	1,11	2,08	1,83	3,16	1,52	4,28	5,98
90	0,83	0,75	1,45	1,06	2,1	0,75	5,34	1,17

Estos resultados se representan en el gráfico de la **figura 7.30**.



**Figura 7.30 – Variación de la resistencia a compresión con el tiempo para distintos porcentajes de cal y con mezclas sin maduración**

Del análisis del gráfico anterior pueden sacarse las siguientes conclusiones:

- En el caso de inmersión del suelo en agua saturada en sulfatos, la caída de resistencia es claramente apreciable en la rotura a 90 días en todos los casos.
- Parecen existir dos fenómenos o procesos distintos que provocan la pérdida de la resistencia por efecto de los sulfatos:
  - \* El primero de los procesos marca una clara pérdida de resistencia entre 10 y 30 días, y se tendría no solo en los casos de que el agua de inmersión contenga sulfatos, sino también en el caso de agua destilada y **por tanto el mismo no**

**parece que pueda deberse a efecto de sulfatos, sino al curado bajo agua mantenida esta a una temperatura entre 8 y 10°**

- \* El segundo de los procesos se produciría entre 30 y 90 días después de realizada la muestra **y es claramente debido al efecto de los sulfatos**, con formación secundaria de ettringita.
- La caída de la resistencia por la presencia de sulfatos en el agua **es inapreciable para porcentaje de cal del 2%**. Igualmente resulta inapreciable la pérdida de resistencia por su inmersión y curado en agua.
- La caída de resistencia por la presencia de sulfatos en el agua **es igualmente inapreciable en el caso del 4% de cal**. La caída de resistencia por inmersión en agua es sin embargo apreciable, y parece mantenerse la misma en valor absoluto con el tiempo.
- La caída de resistencia por efecto de los sulfatos es claramente detectable para porcentajes superiores al 4% y en una **intensidad tanto mayor, cuanto mayor sea el contenido en cal**. Igualmente parece que el fenómeno tiende a producirse más tarde cuanto mayor sea el porcentaje de cal.
- En el caso de que después del curado de las muestras se produzca su saturación por agua con temperatura comprendida entre 8 y 10°, lo que sería normal para el caso de terrenos colocados en zonas posteriormente humedecidas por lluvias al comienzo del período invernal, se tendrán unas pérdidas de resistencia de hasta el 25% del valor de la misma.

***Por consiguiente de este análisis parece que puede concluirse que con porcentajes de cal inferiores al 4% pueden garantizarse unas condiciones de estabilidad de la muestra tratada respecto al ataque de los sulfatos.***

\* Muestras maduras

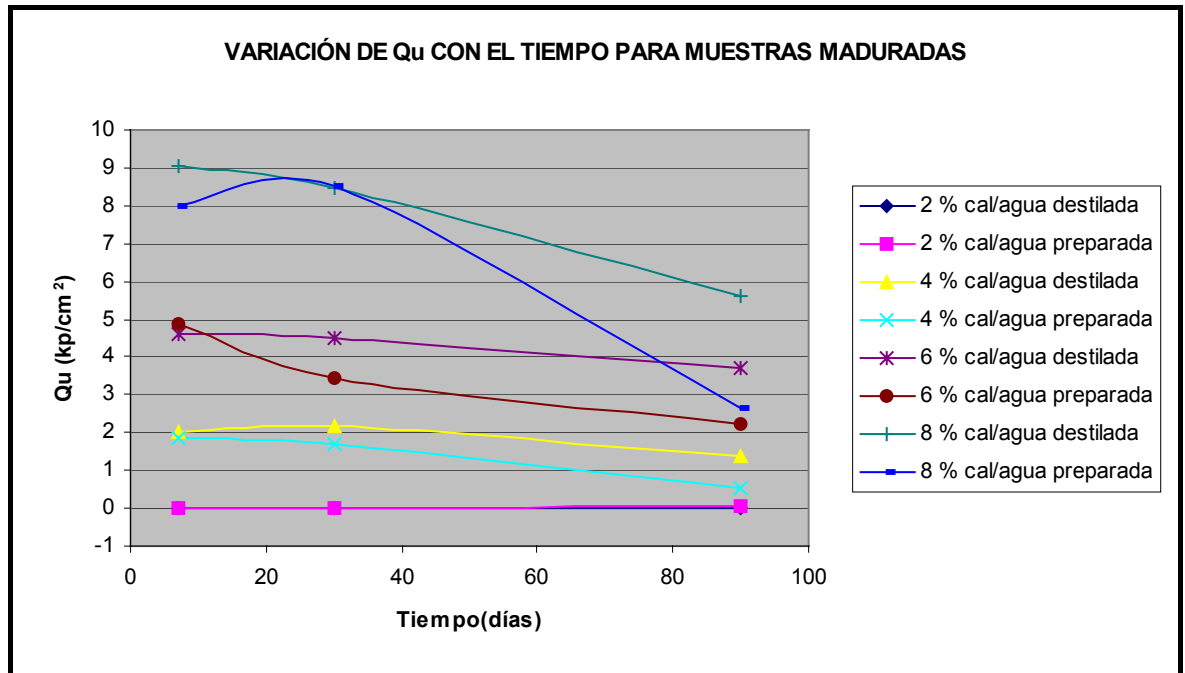
Como se ha citado en el apartado “a”, el caso de muestras maduras corresponde a la realización del tratamiento con cal en dos fases, permitiendo el efecto de mellowing, recomendado en la Normativa Americana. Con este proceso se han realizado un total de 24 probetas de las 48 anteriormente citadas.

En la tabla adjunta pueden verse los resultados de los ensayos para este caso:

Tiempo (días)	Q <sub>a</sub> (2 % cal) (kp/cm <sup>2</sup> )		Q <sub>a</sub> (4 % cal) (kp/cm <sup>2</sup> )		Q <sub>a</sub> (6 % cal) (kp/cm <sup>2</sup> )		Q <sub>a</sub> (8 % cal) (kp/cm <sup>2</sup> )	
	Agua destilada	Agua preparada	Agua destilada	Agua preparada	Agua destilada	Agua preparada	Agua destilada	Agua preparada
7	0	0	2,02	1,87	4,58	4,87	9,04	7,98
30	0	0	2,15	1,72	4,51	3,42	8,48	8,51
90	0,03	0,05	1,36	0,54	3,71	2,23	5,62	2,65

Estos mismos resultados se han representado en el gráfico de la **figura 7.31**.





**Figura 7.31 - Variación de la resistencia a compresión con el tiempo para distintos porcentajes de cal y con mezclas con maduración**

Como puede verse en el anterior gráfico se tendrían las siguientes conclusiones:

- Del análisis de la comparación de éste gráfico con el de la **figura 6.26**, no se ve ninguna mejora en el comportamiento del material por el efecto de la maduración.
- Si es observable y debe destacarse que en el caso de la maduración se disminuye la pérdida de la resistencia por efecto de la inmersión para el curado bajo agua, esto es, la diferencia en las cargas de rotura obtenidas a 7 y a 30 días.
- En el caso de las muestras con proceso de maduración, se pierde casi totalmente la resistencia para porcentajes de cal del 2% y se disminuye en el caso de porcentajes del 4%.
- En el caso de porcentajes de cal en torno al 8% y sin presencia de sulfatos, la resistencias finales alcanzadas son prácticamente iguales en el caso de muestras no maduras y muestras maduras, **si bien la forma de la curva, es claramente distinta. En el caso de muestras maduras, debe destacarse que al menos en con las probetas realizadas hay una pérdida de resistencia con el tiempo.**
- En el caso de muestras maduras y porcentaje de cal del 8%, y con curado en agua con sulfatos, la resistencia disminuye en 90 días a un valor de 2,5 Kp/cm<sup>2</sup>, prácticamente la cuarta parte de lo que se había obtenido en las probetas rotas a 30 días.
- La pérdida de resistencia para porcentaje de cal del 6%, es menos acusada en el caso de muestras maduras que sin maduras y para roturas a 90 días se queda en un valor superior a 2,2 Kp/cm<sup>2</sup>, del orden de la mitad de la resistencia inicial (para este mismo

porcentaje de cal y muestras sin madurar, la resistencia a 90 días era inferior a 1 Kp/cm<sup>2</sup>, esto es, menos de la cuarta parte de la resistencia inicial.

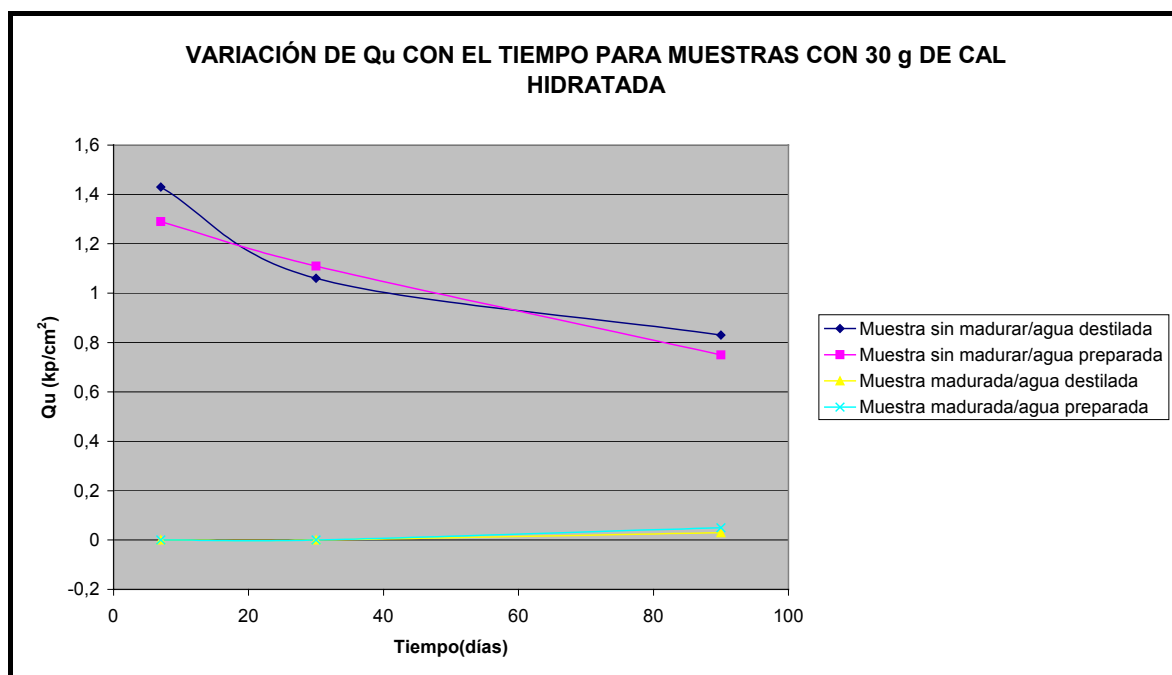
**En conclusión, el efecto de la maduración, va a ser variable dependiendo del contenido en cal y así se tendría:**

- \* Para porcentajes menores del 3%, el efecto es claramente desfavorable, ya que reduce drásticamente la resistencia**
- \* Para porcentajes menores del 5%, el efecto es indiferente, ya que las resistencias alcanzadas son similares, aunque con evolución más estable en el caso de maduración.**
- \* En el caso del porcentajes superiores al 5%, es mayor la estabilidad de la curva de evolución de resistencias, limitándose sobre todo el efecto de las mismas por efecto de la saturación.**

Por consiguiente, las ventajas de la maduración podrían resumirse en los siguientes puntos:

- ***La maduración presenta un efecto beneficioso en el caso de suelos tratados que por su época de colocación van a estar saturados poco después de su curado, y en condiciones climatológicas frías***
- ***No parece que el efecto de la maduración presente ninguna ventaja, frente a la estabilidad de suelos tratados con cal por la acción de aguas selenitosas.***
- ***En el caso de porcentajes de tratamiento reducidos, puede perderse el incremento de la resistencia debido al tratamiento si se realiza maduración.***

Este último punto de gran importancia para el tratamiento de materiales en cuerpo de terraplenes queda más destacado si se considera el gráfico de la **figura 7.32**.



**Figura 7.32 – Variación de la resistencia a compresión con el tiempo para mezclas realizadas con el mismo porcentaje de cal y con o sin maduración**

**PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DE  
SUELOS TRATADOS PARA CUERPO DE  
TERRAPLENES**

## 8. PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DE SUELOS TRATADOS PARA CUERPO DE TERRAPLENES

A partir del análisis de los ensayos de laboratorio realizados modificando los porcentajes de agua y de cal, y de los terraplenes experimentales en las obras reseñadas en este estudio, se ha elaborado **un procedimiento contrastado para el tratamiento de suelos con cal por vía húmeda.**

Las principales singularidades de este procedimiento son:

- Los porcentajes de humedad del tratamiento son muy superiores a los que usualmente se venían recomendando en las estabilizaciones.
- La elevada pegajosidad del material humedecido imposibilita el uso de estabilizadoras de eje horizontal (rotobator), **con lo que el mezclado se realiza mediante pata de cabra, grada de rejas o arado de volteo.**
- La elevada proporción de agua añadida hace que se facilite la mezcla del suelo con la cal a partir de su disolución en agua, y en cualquier caso que no quede cal libre después del tratamiento, que pueda ser susceptible de mezclarse con otro tipo de compuestos químicos formando minerales que al cristalizar puedan romper la estructura del suelo tratado.
- El exceso de agua añadido permite contar con un tamponamiento de la efectividad del tratamiento, de forma que se obtienen a largo plazo resultados de resistencia y estabilidad del suelo tratado muy similares, para un abanico de humedades muy abierto, y por tanto fácilmente ejecutable.

Este procedimiento, que ha sido utilizado en todas las obras aquí referenciadas, ha permitido obtener suelos tratados de calidad suficiente con un procedimiento constructivo muy simplificado, y que necesita pocas modificaciones durante todo el proceso de ejecución de los rellenos, lo que garantiza su efectividad y facilidad de seguimiento.

Este procedimiento, por tanto, comprendería las siguientes actividades:

### 8.1 Maquinaria a emplear

La maquinaria para la colocación de este suelo tratado deberá ser:

- Para el extendido de la tierra, un bulldozer de cadenas.



- Para el extendido de la cal, la misma cisterna en que se suministre, con un dosificador trasero de aire comprimido. Las máquinas especiales de extendido presentan el inconveniente de que retrasan el proceso y sueltan mucho polvo de cara a la atmósfera.





- Mezclado y trituración mediante pata de cabra.



- Volteo de la capa para regularizar el mezclado, mediante arado de volteo o grada de rejas.



- Cuba para humectación de la capa.



## 8.2 Condiciones para la colocación del material

- El material traído del desmonte se extenderá en tongadas antes de la compactación, mediante el empleo de bulldozer de cadenas, que permita realizar una primera disgregación del mismo.
- *Ya al paso de las orugas del bulldozer, podrá observarse cómo los bolos de arcilla dura o nivel carbonatado van sufriendo una disgregación, que luego se irá aumentando con las sucesivas pasadas de pata de cabra.*
- *Se realizará el extendido de la cal, en la cuantía definida por metro cuadrado, y en dos pasadas. Por tanto, en esta fase se realizaría **únicamente la primera pasada**.*

***Puesto que se considera necesario el extendido de cal en dos fases, sería obligado el empleo de una máquina dosificadora de cal distinta de la cisterna, a fin de que quede garantizada su movilidad sobre terreno previamente humedecido.***

- Realización de una pasada de cuba de agua con volquete a presión máxima que permita una apertura en un ancho de 15 m.
- Inmediatamente detrás de la cuba, una **pasada simple** de la pata de cabra para el primer mezclado de la cal con la arcilla y el agua.
- Realización de otra pasada de cuba.



- Inmediatamente detrás, **una pasada doble (o dos pasadas simples) de pata de cabra.**
- Paso del arado de volteo, grada de rejas o vertederas, para elevar a superficie el material de fondo de tongada.

*Al realizar esto, se verá cómo el material que aflora a superficie, procedente de la base de la tongada, presenta bolos no disgregados, así como una textura de aspecto mucho más seco.*

- *Realización de la segunda pasada de la dosificadora de cal.*
- Realización de una pasada de cuba.
- Realización de una pasada simple de pata de cabra.
- Realización de una pasada de cuba.
- Realización **de una pasada doble de pata de cabra.**
- Comprobación, si ha lugar, del grado de disgregación de la capa.
- Cierre de la capa mediante una pasada simple de rodillo vibrante.
- Comprobación en un mínimo de 6 puntos, de las humedades y densidades de la capa colocada para profundidad de 15 cm, y medida por métodos radioactivos.

### **8.3 Condiciones de acabado**

- En el acabado de cada capa deberá garantizarse una pendiente mínima del 4%, de forma que se asegure la no formación de encharcamientos.
- Una vez realizado el acabado de la capa, deberá dejarse un tiempo de curado antes de proceder a colocar por encima de ella la siguiente.
- **Una vez comenzado el extendido de la cal, debe completarse, sin ninguna parada, el proceso completo hasta el paso del rodillo liso para cierre de la capa.**
- *Aunque, como se ha comentado, es admisible el extendido de la arcilla en la tarde anterior para su tratamiento, en la mañana del día siguiente, una vez realizado el extendido de la cal, debe completarse el proceso totalmente, no pudiendo interrumpirse en ningún caso, ni dejarse para completar en la siguiente jornada.*

## **PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL**

## 9. PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL

El control del material se realizará según las siguientes actividades:

- \* Control de préstamos.
- \* Control en el material colocado.
- \* Control en el comportamiento del procedimiento.
- \* Controles sucesivos de la evolución del material a lo largo del tiempo.

**Siempre que se cumpla el procedimiento para la colocación de los materiales, y se respeten los espesores y número de pasadas de la distinta maquinaria, debe asumirse que el resultado es bueno, y los controles del producto colocado deben ir por tanto encaminados a comprobar si hay una evolución en las condiciones climáticas o del material que haga recomendable una modificación del procedimiento.**

### 9.1 Control en préstamos

- Se pedirá a la Constructora que facilite los sistemas de explotación de los desmontes para ataque frontal, con direcciones de ataque y alturas de banco.
- Se realizará para estas explotaciones una calicata cada 2.000 m<sup>2</sup> (de profundidad igual a 4 m, que es la altura de banco) tomándose una muestra de la mezcla del material.
- De esta mezcla, se realizarán:
  - \* Determinación de plasticidad con secado en estufa a 60°.
  - \* Determinación de plasticidad con secado en microondas.
  - \* Determinación de humedad natural con secado en estufa a 60°.
  - \* Determinación de humedad natural con secado en microondas.
  - \* Determinación del contenido en sulfatos.
  - \* Determinación de las densidades aparentes mediante secado en estufa a 60°, de 3 muestras o bloques tomados de cada cata (a 1 m, 2 m y 3 m).
  - \* Determinación de las densidades aparentes mediante secado en microondas, de 3 muestras o bloques tomados de cada cata (a 1 m, 2 m y 3 m).

## 9.2 Control de la tongada colocada

- Se controlará la disgregación obtenida antes del cierre de la capa, determinando el porcentaje de material con tamaño menor de 5 mm.

*Para realizar esto, antes del cierre de la capa, se tomará una muestra en el propio tajo de peso en el entorno de 2 kg. Esta muestra, una vez pesada, se verterá en el cedazo de apertura de malla de 5 mm, disgregando el material con la mano y la ayuda de un secador de pelo, que puede ir conectado a un grupo electrógeno transportable. Se entiende que es razonable suponer que, con el disgregado manual, nunca podrán romperse bloques existentes en arcilla de tamaño superior, y que con la ayuda del secado puede reproducirse la granulometría real final del material.*

**En el caso de que el porcentaje menor de 5 mm sea inferior al 65%, deberán darse dos nuevas pasadas sencillas de pata de cabra, y volverse a realizar el ensayo.**

En principio, el personal con experiencia de la asistencia técnica, puede fácilmente controlar la calidad de la disgregación obtenida, y este ensayo no es necesario que se realice de forma sistemática en cada tongada, salvo de forma ocasional o cuando lo precise la asistencia técnica.

- Control de humedades y densidades mediante métodos radioactivos, hinchando a profundidad de 15 cm y con una densidad mínima de 8 puntos por cada 2.000 m<sup>2</sup> de tongada colocada. De estos puntos deberá incluirse en informe la media de densidad y humedad, ya que cada valor puntual no es significativo de cara a la modificación del procedimiento.

## 9.3 Controles del procedimiento

- Adosado y exteriormente al terraplén a realizar, se ejecutarán 3 tongadas de ancho de 15 m y longitud no inferior a 40 m. Estas tongadas deberán realizarse cada vez que se varíe el procedimiento o cuando lo estime adecuado la dirección de obra y su asistencia.
- Sobre esas tongadas de prueba, se realizará un ensayo de la huella, siguiendo la norma suiza, traducida por el C.E.D.E.X., y con medidas a los siguientes periodos de maduración:

- \* 4 horas
- \* 24 horas
- \* 72 horas
- \* 1 semana

Habida cuenta que el incremento de resistencia del material, en las condiciones climáticas actuales, se va a producir en primera fase entre 12 y 24 horas, los valores de huella que se consideran admisibles son:

- \* A las 4 horas, 30 mm.
- \* A las 24 horas, 8 mm.
- \* A las 72 horas, 3 mm.
- \* A la semana, 2 mm.
- Sobre estas mismas explanadas de prueba se realizarán ensayos de placa de carga, con placa circular de 50 ó 60 cm de diámetro y para los siguientes periodos de maduración:
  - \* 3 días
  - \* 7 a 15 días
  - \* > 30 días
- En principio puede preverse que se realice un grupo de placas de carga por cada 3 grupos de ensayos de huella.
- Toma de muestras en bloque para la realización de ensayos de resistencia y deformabilidad.
- En las explanadas de ensayo, se tomarán un mínimo de 2 series de 4 bloques inalterados.

El primer grupo de muestras inalteradas se tomará para un periodo de curado in situ de 7 días, y el segundo para 30 días.

- En cada uno de los bloques se realizarán los siguientes ensayos:
  - \* Determinación de la densidad aparente
  - \* Determinación de la densidad mediante secado en estufa a 50°
  - \* Determinación de la densidad mediante secado en microondas.
  - \* Tallado de muestra y determinación del hinchamiento libre.
  - \* Tallado de muestra y determinación del colapso para presión vertical actuante de 1 kp/cm<sup>2</sup>.
  - \* Determinación de la resistencia al corte sin drenaje para una presión vertical de 1 kp/cm<sup>2</sup>.

#### 9.4 Estimación del comportamiento final del terraplén

- \* Antes de colocar la capa de forma, o cuando la altura del terraplén sea mayor de 5 m, se realizarán ensayos de penetración dinámica tipo borro, **mediéndose el número de golpes necesarios para que la varilla penetre 5 cm.**

- \* A partir de los resultados de estos ensayos, podrá conocerse la evolución e incremento de resistencia de las capas según su maduración.
- \* Alcanzada la coronación de los terraplenes, y para material cuyo tiempo de maduración sea como mínimo superior a 1 mes, en caso de clima templado o cálido, o de 3 meses en caso de clima frío, se realizarán placas de carga con inundación previa, de acuerdo con la metodología fijada en ese momento.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

## 10. CONCLUSIONES GENERALES

Dentro de la clasificación de las distintas secciones de terraplenes para el aprovechamiento de materiales marginales, se considera en varias de las citadas el tratamiento de los suelos arcillosos marginales con cal.

El tratamiento de suelos arcillosos con cal puede dar resultados muy dispares, dependiendo no sólo de los parámetros intrínsecos del material a tratar, sino también del riesgo de presencia de sulfatos o de la futura saturación del material tratado por aguas selenitosas, previsión de temperaturas después de la colocación de la capa, etc., factores todos estos que deben ser tenidos en cuenta de cara a elaborar una metodología para el tratamiento de suelos arcillosos marginales con cal para su reutilización en cuerpo de terraplenes.

Además, y como se incluye en la bibliografía, hay criterios dispares sobre el procedimiento de ejecución del tratamiento, necesidad y ventajas del empleo de rozadoras de eje horizontal, necesidad y duración de la maduración, etc.

Siguiendo esta línea de investigación, se han obtenido las conclusiones que seguidamente se exponen, basadas fundamentalmente en la recopilación bibliográfica y comprobación del comportamiento que se indica en la misma, realización de ensayos de laboratorio e interpretación de los ensayos y pruebas que han definido el comportamiento de obras ya realizadas en que se hayan utilizado suelos arcillosos tratados con cal.

Las conclusiones aplicables respecto a diversos aspectos del tratamiento serían las que seguidamente se exponen:

- Dosificación de la cal y del agua en función de las características del material

*Deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:*

- \* *La mejora de propiedades, en lo que respecta a la disminución de la expansividad, va a depender no solo del porcentaje de cal del tratamiento, sino también del contenido en agua. Así, para la reducción de la expansividad, puede ser aconsejable el incremento de la humedad de tratamiento, lo que permite reducir el porcentaje de cal.*
- \* *Para alcanzar las mayores resistencia del suelo tratado con cal son precisas dotaciones muy altas, ya que parte de la misma se emplea únicamente en mantener un medio alcalino sin reaccionar con el suelo arcilloso, y con clara diferencia sobre los procesos de estabilización, debe fijarse el porcentaje de cal que permita obtener el valor de la resistencia suficiente para que el material cumpla las características de colocación, y además se cuente con una plataforma estable durante el proceso constructivo.*
- \* *En el caso de que se utilicen dotaciones reducidas de cal en torno a inferiores al 2%, puede conseguirse un mezclado homogéneo en base al aporte de*



*suficiente cantidad de agua, ya que la misma distribuiría al disolverlo en hidróxido cálcico. En este caso, no es necesario el empleo de grandes medios para garantizar la homogeneidad del tratamiento y se consigue además una mejora de esta distribución a largo plazo en base a la posterior humectación por succión de las partículas arcillosas que no hubieran quedado tratadas.*

- Influencia de las condiciones climáticas durante el periodo de maduración y endurecimiento de la mezcla tratada.

Respecto a este aspecto se han obtenido conclusiones de interés que corroboran las experiencias reflejadas en bibliografías, tanto para el tratamiento con cal como para el tratamiento con cenizas.

En concreto, dado el mayor período en que se realiza el endurecimiento de la cal, es mucho más amplio el período después de la compactación, en que una disminución brusca de las temperaturas puede afectar al endurecimiento de la capa, sin que se consiga una recuperación de la resistencia tras un período de bonanza climática.

Deberá por tanto elaborarse un criterio adaptado a las condiciones climáticas de cada zona que permita o autorice la realización de tratamientos con cal, sin riesgo de que el endurecimiento de los mismos se vea afectado por la presencia de heladas.

- Aplicación de tratamiento con cal a suelos con presencia de sulfatos.

En primer lugar, debe destacarse que una de las principales aportaciones de este estudio es haber podido contar con roturas de probetas de suelos con sulfatos tratados con cal a períodos de 3 años después de su preparación.

Del análisis de los resultados obtenidos se deduce que para porcentajes de sulfatos superiores al 2% medidos en tantos por ciento de  $\text{SO}_3$  y porcentajes de cal superiores al 2% se produce una pérdida casi total de la resistencia para períodos de tiempo superiores a 1 año.

Igualmente se ha comprobado que en suelos con porcentajes de sulfatos superiores al 3% hay muy poca variación en la resistencia entre 1 mes y 1 año, independientemente de la dotación de cal del tratamiento. Sin embargo, como se cita en el párrafo anterior, es mucho mayor la caída de la resistencia a partir de 1 año cuanto mayor sea el porcentaje de cal del tratamiento.

Las resistencias que se obtienen a 1 mes son independientes del contenido en sulfatos y crecientes con el porcentaje de cal, con lo que no son representativas de la futura evolución de este material, ni la posible destrucción de sus enlaces por la formación de ettringita.

- Efecto de la saturación posterior de muestras tratadas con aguas selenitosas.

Debe destacarse la importancia de este aspecto, ya que si bien en muchos casos puede garantizarse que el suelo tratado con cal no contiene sulfatos, siempre se puede tener un riesgo futuro al variarse las condiciones de drenaje con la obra lineal realizada de que en un futuro llegue al material tratado aguas selenitosas

De los ensayos realizados se deduce que siempre y cuando las partículas de cal del tratamiento estén fijadas por las partículas de arcilla, no hay disminución apreciable de resistencia por la saturación posterior de agua con contenido en sulfatos. Sin embargo, en los casos en que haya quedado en el suelo un porcentaje notable de cal libre debido a que parte de la función de la misma haya sido subir el Ph para mejorar la reacción de la estabilización, se tendrá riesgo de formación de ettringita, combinándose los sulfatos con la parte de cal no fijada en la arcilla.

- Necesidad del pretratamiento o maduración previa con mezcla de suelo y cal y sin aporte de agua ni cierre de la capa.

No se ha observado ninguna mejora en el comportamiento del material, si se realiza un pretratamiento o maduración, las conclusiones obtenidas por tanto, coinciden con los resultados publicados en el Reino Unido, de que este proceso es indiferente, o incluso contraproducente, cosa contraria a las recomendaciones de algunas normativas de estados americanos o de bibliografía técnica de esta nación.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que tal y como contempla el artículo 510 del PG-3 2004, un tratamiento previo sin presencia de agua favorecería la disgregación de la arcilla de alta plasticidad debido a la retracción, y en ese sentido, sí puede ser favorable este proceso, siempre que se controle debidamente cuál sería la humedad final del material así tratado.

Igualmente, en base a los resultados de los ensayos y a los procedimientos contrastados realizados en las obras, se ha completado un procedimiento para la realización de un tratamiento de modificación de suelos, que sería aplicable a todo el cuerpo de terraplenes, y no solo a las capas de explanada mejorada (capa de forma o cappi).

Quedan, por tanto, fuera de los objetivos de la tesis los estudios de reutilización de suelos marginales, por presencia de yesos, materia orgánica, sales solubles, etc., así como los tratamientos con otro tipo de ligantes o la colocación del material sin tratamiento protegido mediante un sistema de encapsulamiento.

## **LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS**

## 11. LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

De acuerdo con las conclusiones de los estudios realizados dentro de esta tesis, y que se han expuesto en los puntos anteriores, las líneas de investigación futuras deberán centrarse fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Estabilidad y permanencia de los suelos tratados con cal, especialmente en lo que se refiere a los siguientes puntos:
  - a) Ataque por sulfatos
    - \* Relación entre porcentaje de tratamiento de cal y contenido en sulfatos del suelo tratado para garantizar que no se producen daños por formación de sales expansivas.
    - \* Modificación de la relación anterior según la maduración y la temperatura de realización del tratamiento.
    - \* Estabilidad de los suelos tratados en función del porcentaje de cal y la densidad seca y plasticidad de la arcilla cuando el material se sature de aguas selenitosas. Determinación de la agresividad de aguas para suelos tratados con cal.
  - b) Ataque por temperatura
    - \* Elaboración de una relación que permita estimar la disminución de resistencia en función de la evolución de temperaturas desde que se produce la maduración.
- Utilización de otros ligantes, como mezclas cemento-cal, enzimas, mezclas puzolana-cal, etc.
- Utilización de los suelos tratados en las capas más solicitadas de las infraestructuras, como la explanada mejorada en carretera y la capa de forma ferroviaria. Para el abordaje de este problema podría seguirse una metodología similar a la propuesta AASHTO, para la estabilización de suelos con cenizas, y que obliga a la realización de ensayos triaxiales dinámicos antes de permitir su utilización cerca de la rasante de la carretera o ferroviaria, donde lógicamente van a repercutir de forma más importante los efectos dinámicos.
- Determinación del modelo de comportamiento de los suelos tratados con cal, en base a las experiencias de Vaughan y otros sobre el modelo de rotura de suelos de cementación débil.
- Obtención de relaciones que permitan determinar, según la naturaleza del suelo arcilloso (definida por ejemplo por su índice de plasticidad y densidad seca) y para un porcentaje de cal, cuáles van a ser los parámetros del criterio de rotura así como los módulos de deformación antes del BSE (Bond Strength Envelope) y después del BSE. **En conclusión, estimación del comportamiento tensodeformacional del material**

**tratado en base a los parámetros de identificación que definan la arcilla sin tratar y desestructurada.**

## **BIBLIOGRAFÍA**

**12. BIBLIOGRAFÍA**

- Aashto-AGC-Artba (1990) "Guidelines and Guide Specifications for Using Pozzolanic Stabilized Mixture (Base Course or Subbase) and Fly Ash for In-Place Subgrade Soil Modification"
- Abduljauwad, S.N. (1991). "Characteristics and chemical treatment of expansive clay in Al-Qatif, Saudi Arabia" J. Eng. Geology, 30, 143-158.
- Addujauwad, S.N. (1993) "Study on the performance of calcareous expansive clays" Bull Assoc. Eng. Geol., Accepted for publication.
- Abduljauwad, S.N., Hameed, R.A., Al-Sulaimani, G.J., Basunbul, I.A., and Safar, M.M. (1993) "Expansive soils in Eastern province of Saudi Arabia" Proc. Seven Int. Conf. On Expansive Soils, 1, Dallas, TX, 426-431.
- ADIF (2004). "Normas IGP del GIF para la realización de proyectos"
- Al-Sayari, S.J. y Zotl, J.G. (1978). "Quaternary period in Saudi Arabia" Springer-Verlag, Wein, Austria.
- Anon (1963), "Subgrade Improvment UIT Drill-Lime Stabilisation", Rural and Urban Roads, October.
- Asce, Abduljauwad, S.N. (1998). "Treatment of calcareous expansive clays Fly ash for Soil Improvement".
- Ayyar, T.S. Ramanatha y Ramesan Koyilotan (1989) "A Study of Lime Columns in an Expansive Clay" Indian Geotechnical Conference, Visakhapatnam, Vol 1 p. 185-189
- Bagonza, S., Peete, J.M., Freer-Hewish, R y Newell, D. (1987) "Construction of Stabilised Soil Cement and Soil Lime Mixtures", Proc. Seminar H. PTRC Transport and Planning Annual Meeting, Univ. of Bath.
- Bhattacharya, P. y Bhattacharya, A. (1989) "Stabilisation of Bad Banks of Railway Track by Lime Slurry Pressure Injection", Indian Geotechnical Conference, Visakhapatnam, Vol. 1 p. 215-319.
- Betteker, J.M., Sherrard, J.H y Ludwig D.D. (1986) "Solidification/Stabilisation of Contaminated Dredged Material", Mid Atlantic Industrial Waste 18 th Conference Virginia USA p.253-273.
- Black, W.P. y Lister, N.W. (1979) "Strength of Clay Fill Subgrade: its Prediction in Relation to Road Performance", Department or Transport TRRL Laboratory Report LR 889, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

- Blacklock, J.R. y Wright, P.J. (1986) "Injection Stabilisation of Faild Highway Embankments" 65<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington D.C., USA.
- British Lime Association (1990) "Lime Stabilisation Manual", BLA.
- British Standards Institution (1989), BS 812, Part 124, "Testing Aggregates, Method for the Determination of Frost-heave" BSI. London.
- British Standards Institution (1983), BS 1047 "Air-Cooled Blasfurnace Slag Aggregate for Use in Construction", BSI, London.
- British Standards Institution (1990a) BS 1377 "Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes", BSI, London and as amended by British Standards Institution (1991), "Special announcement", BS-1377, BSI News, January 1991, BSI, London.
- British Standards Institution (1990b), BS 1924 "Stabilised Materials for Civil Engineering Purposes", BSI, London.
- British Standars Institution (1990), "BS 1924: "Methods of Test for Stabilised Soils" BSI, London.
- British Standars Institution (1990), "BS 1924: Part 2, Methods of Test for Cement Stabilised and Lime Stabilised Materials" BSI, London.
- British Standards Institution (1980), BS-5835 "Recommendations for Testing Agggegates. Part. 1: Compactibility Test for Graded Aggregates." British Standards Institution, London.
- British Standars Institution (1990) "Methods of Test for Stabilised Soils" BS 1924 HMSO. London.
- Broms, B.B. (1983) "Stabilisation of Soft Clay With Lime Columns", International Seminar on Construction Problems in Soft Soils, p. 30.
- Broms, B.B. (1985) "Stabilisation of Slopes and Deep Excavations with Lime and Cement Columns" 3rd International Geotechnical Seminar, Singapore, p. 127-135.
- Broms, B.B. y Boman, P. (1975) "Lime Stabilised Columns", 5th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangolare, p. 227-234.
- Broms, B.B. y Boman, P. (1975) "Stabilisation of Soft Soil with Lime Columns", Ground Engineering, Vol. 12 May, p.23-32.
- Buxton Lime Industries (undated) "Chemical Data Sheet for Quicklime" BLI, Buxton.
- Buxton Lime Industries (1990) "Lime Stabilisation Manual" 2<sup>nd</sup> Edition.



- Caerns, P.J. y Noakes, R.J. (1988) "Lime Stabilised Capping at Saxmundham By-Pass (A12)" BACMI Symposium – Lime Stabilisation I C E.
- Chaddock, B.C.J. (1988) "Deformation of Road Foundations with Geogrid Reinforcement" Department of Transport TRRL Research Report RR140, Transport and Road Research Laboratory, Crowtherne.
- Chaddock, B.C.U. y Brown, A.J. (1995) "In-situ tests for Road Foundation Assessment" Unbound Aggregates in Roads, Proc. UNBAR 4, Ed. R.H. Jones and A.R. Dawson, Nottingham University, p.259-270.
- Chaddock, B.C.J., Coyle, T. y Earland, M.G. (1995) "The Performance of Recycled Bituminous Bound Materials as Undound Granular Sub-base", Undound Aggregates in Roads, Proc. UNBAR 4, Ed. R.H. Jones and A.R. Dawson, Nottingham University, p. 193-204
- Chua, K.M. (1988) "Determination of CBR and Elastic Modulus of Soils Using a Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer", Penetration Testing 1988, ISOPT-1. De Ruiter (ed), ISBN 90-6191-801-4 Rotterdam.
- Chummar, A.V. (1987) "Ground Improvement by Sand Lime Piles", Proceedings of the Ninth S E Asian Geotechnical Conference, Bangkok, Thailand.
- Chew, H.H., Takeda, T. Ichikawa, K. y Hosoi, T (1993), "Chemico Lime Pile Soil Improvement Used for Soft Clay Ground", Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference, 4-6 May, Singapore, p. 319-324.
- Clare, K.E. y Cruchley, A.E. (1957). "Laboratory experiments in the stabilization of clays with hydrated lime" Geotechnique, 7, 97-111.
- Cobbe, M.I. (1981) "A Preliminary Investigation into Lime Modification of Heavy Clays" Postgraduate Diploma Dissertation, Middlesex Polytechnic.
- Cobbe, M.J. (1988) "Lime Modification of Kaolinite-Illite Clays" Civil Engineering Technology, February 1988, p. 9-15.
- Cobert, S.P. (1988) "Laboratory Trials for Lime Columns in Soft Clay", Lime Stabilisation 88 Symposium, London, British Aggregate Construction Material Industries, March, p. 64-79.
- Cripps, J.C y Taylor, R.K. (1986) Engineering Characteristics of British Over-consolidated Clays and Mudrocks: I Tertiary Deposits" Engineering Geology, 22, p.349-376.
- Croney, D. y Croney P. (1991) "The Desing and Performance of Road Pavements" ISBN 0-07-707408-4, McGraw Hill, p.168-171.

- Curran, D.D., Allen, J.J y Little D.N. (1976). "Validation of Soil Stabilization Index System with Manual Development" Report FJSRL-TR-76-0006, Frank J. Seiler Research Laboratory, United States Air Force Academy, Colorado.
- Dallas, N. (1995) "Stabilisation of pavement subgrades and base courses whit lime" Ed. Kendall/Hunt
- Davidson, L.K., Demirel, T. y Handy, R.L. (1965) "Soil Pulverisation and Lime Migration in Soil Lime Stabilisation" Highway Research Record No 92, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C. USA.
- Day, J.B.A. (1976), "Proof Testing of Unbound Layers", Proc. Int. Symp. On Unbound Aggregates in Roads (UNBAR1), Univ. Of Notingham.
- Department of Transport (1976) "Specification for Highway Works", Sixth Edition, HMSO, London.
- Department of Transport (1986) "Specification for Highway Works", Sixth Edition, HMSO, London.
- Department of Transport (1991) "Specification for Highway Works", Seventh Edition, HMSO, London.
- Department of Transport (Amendment August 1994) "Specification for Highway Works", Seventh Edition, HMSO, London.
- Department of Transport (1991) "Specification for Road and Bridge Works", Fifth Edition, HMSO, London.
- Department of Transport (1978) "Technical Memorandum H6/78: Road Pavement Design". Table 7S.
- Dermatas, D (1995). "Ettringite induced swelling in soils: state of the art".. American Society of mechanical engineers, Vol. 48, nº 10, Hoboken, center for environmental engineering, Stevens Institute of Technology.
- Design Manual for Roads and Bridges (1995), HMSO, London.
- HA74 "Design and Construction of Lime Stabilised Capping" (DMRB 4.1.6)
  - HD25 "Foundations" (DMRB 7.2.2)
  - SH7 "Specification for Road and Bridge Works: Soil Suitability for Earthworking – Use of the Moisture Condition Apparatus" (DMRB 4.1.4.)
  - HA/75/95 Volume 4 Geotechnical and Drainage Works" Design and Construcción of Lime Treated Campping Layers"
- Diamond, S. y Kinter, E. B. (1965). "Mechanisms of Soil-Lime Stabilization, An Minerals". Highway Research Board Bullelin No. 262.

- Diamond W. y Kinter, B. (1965) "Mechanisms of Soil-Lime Stabilisation", Highway Research Record No. 92 TRB, Washington D.C. p. 83-102.
- Domingo Ayuso, A. Olías, I. Torroja, J. Castanedo Navarro, F y Oteo Mazo, C (2000) "Metodología y estudio de la reutilización con tratamiento de cal de materiales arcillosos clasificables como marginales o inadecuados en la M-45 de Madrid"..Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte. Sociedad Española de mecánica del suelo e Ingeniería geotécnica.
- Dupraz, J. (2000). "Le traitement des sols a la Chaux vive en vue de leur utilisation en remblai et en couche de forme II". Congreso Andaluz de Carreteras. Cádiz
- Dumbleton, M.J. (1962) "Investigations to Assess the Potentialities of Lime For Soil Stabilisation in the United Kingdom" Road Research Laboratories Technical Paper No. 64, Crowthorne.
- Dutré V. y Vandecasteele, C. (1995) "Solidification/Stabilization of Hazardous Arsenic Containing Waste from a Copper Refining Process", Journal of Hazardous Materials, Vol. 40 p.55-68.
- Eades, J. L. (1962). "Reactions of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  with Clay Minerals in Soil Stabilization". Ph. D. Dissertation, University of Illinois – Champaign. Urbana.
- Eades, J.L. y Grim R.E. (1966) "A Quick Test to Determine Lime Requirements for Lime Stabilisation" Highway Research Record No. 3, TRB, Washington D.C. p. 61-71.
- Eades. J.L. y Grim, R. (1960) "Reactions of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization" Highway Research Board Bull. 262, 51-63.
- Eades, J. L. Nichols, F.P y Grim, R.E. (1962). "Formation of New Minerals with Lime Stabilization as Proven by Field Experiments in Virginia". Highway Research Board Bulletin No. 335.
- Fernández, T (2003). "Influencia de los terrenos en la urbanización de nuevos sectores urbanos: la estabilización de arcillas margosas con cal".. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Fly Ash Design Manual For Road and Site Application (1986) CS-4419, volume 1, Research Project 2422-2. Interim report.
- Fohs, D.G. y Kinter, C.B. (1972) "Migration of Lime in Compacted Soil" Public Roads, Vol. 37 No 1, p-1-8.
- Frydman, S. y Ehtenreich, T. (1977) "Stabilization of heavy clay with potassium chloride" J. Geot., 8, 95-108.

- Gallios R.W y Horton A (1981) "Field Investigation of British Mesozoic and Tertiary Mudstones" Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 14 No. 4.
- Glendinning, S. y Rogers, C.D.F. (1996), "Deep Stabilisation Using Lime", Lime Stabilisation, Edited by C.D.F. Roger, S. Glendinning and N. Dixon, Thomas Telford, London.
- Griffin, R.A. y Shimp, N.F. (1987) "Attenuation of Pollutants in Minicipal Landfill Leachate by Clay Minerals" Report Number EPA-600/2-78-157. U.S. Environmeltal Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268.
- Gromko, G.J. (1974) "Review of expansive soils" J. Geot. Eng. Div, ASCE, 100(6), 667-687.
- HA 25 (1994) "Structural Design of New Road Pavements" Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 7, Section 2, Part 2 (DMRB 7.2.2.) HMSO, London
- HA 74 (1995) "Design and Construction of Lime Stabilised Capping" Design Manual for Roads and Bridges, Vol, 4. Section 1. Par 6 (DMRB 4.1.6.) HMSO, London.
- Handy, R.L. (1994), Personal communication.
- Handy, R.L y Williams, N.W. (1967) "Chemical Stabilisation of an Active Landslide" Civil Engineering, Vol. 37 No 8 p.62-65.
- Hannay (1976). "Treatise on Soild State Chemistry". Vol. 4, Reactivity of Solids. Plenum Press, New York.
- Hardy, J. R. (1970). "Factors Influencing the Lime Reactivity of Tropicallly and Subtropically Weathered Soils" Ph. D. Dissertation, University of Illinois. Champaign. Urbana.
- Harris, M.R. Herbert, S.M y Smith, M.A. (1995) "Remedial Treatment for Contaminated Land", Volume VII Ex-situ Remedial Methods for Soils Sludges and Sediments, CIRIA Special Publication SP 107, Construction Industry Research Information Association, London.
- Hawkins, A.B. y Pinches, G.M (1987) "Cause and Significance of Heave at Llandaugh Hospital, Cardiff – A Case History of Ground Floor Heave Due to Gypsum Growth", Quarterly Journal of Engineering Geology, Vo. 20.
- Hawkins, A.B. y Pinches, G.M. (1987) "Sulphate Analysis on Black Mudstones" Geotechnique Vol. 37 No 2.
- Heath, D.C. (1992) "The Application of Lime and Soil Stabilisation at BAA Airports" Proc. Inst Civ Engrs Transp, 95, Feb, p.11-49.

- Hervás, J. y Rodríguez R (2002). “Estudio sobre métodos de determinación del contenido en sulfatos según la Norma UNE 103201: 1996, las normas TEX-619 & 620-J de Texas (EEUU) y por cromatografía iónica”.. Laboratorio de Geotecnia (CEDEX)
- Highways Agency (1996) “Business Plan 1996/97” Highway Agency, London.
- Hilt, G.H. y Davidson, D.T. (1960) “Lime fixation in clayey soils” Highway Research Bull. 262, 20-32.
- HMSO (1986). “Notes for guidance on the specification for highway works”. Department of Transport (United Kingdom)
- HMSO (1986) .“Specification for highway works”, (Norma Inglesa)
- Ho, C y Handy R.L. (1963). “Characteristics of lime retention by montmorillonitic clays” Highway Research Record No. 29, 55-69.
- Hoover, J.M (1965) Evaluation of Experimental Stabilised Soil Base Construction, Webster County Iowa “Highways Research Record No 92, p.21-42.
- Hunter, D. (1988) “Lime-Induced Heave in Sulphate-Bearing Clay Soils” ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol 144 No 2, p. 150-167.
- Inédito (2000) “Estudio a escala de microscopio de los fenómenos de interacción suelo-cal”. Santiago, C. Manuscrito personal. Inédito..
- Ingles O.G. y Metcalfe, J.B. (1972) “Soil Stabilization Principles and Practice” Butterworths, Melbourne, Australia.
- Joffe, J. S., (1949). “Pedology”. Pedology Publications, New Brunswick, New Jersey.
- Johnson, P.E. (1985), “Maintenance and Repair of Highway Embankments: Studies of Seven Methods of Treatment” Department of Transport, TRRL Research Report 30, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Joshi R.C. et al (1975) “New and Conventional Engineering Uses of Fly Ash”. Transportation Engineering Journal, ASCE, volume 101, no. TE4, pp 791-806.
- Junta de Andalucía, (1999). Instrucción para el Diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía.
- Katti, R.K. y Gupta, A.K. (1970) “Studies on the Diffusion of Lime in Expansive Soil” Proceedings of the Second S E Asian Conference on Soil Engineering P. 611-619.
- Keller, W. D. (1949). “Processes of Origin and Alteration of Clay Mineral” Soil Clay Mineralogy ,C.I. Rich and G. W. Kunze, Editors, University of North California.

- Kennedy, C.K., Fevre, P. y Clarke C.S. (1978) "Pavement Deflection: Equipment for Measurement in the UK. Report LR834 Transport Research Laboratory, Crowthorne
- Kitsugi, D. y Azakami R.H. (1982) "Lime-Column Techniques for the Improvement of Clay Ground" Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Bankok, p.105-115.
- Kleyn, E.G. y Savage, P.F. (1982) "The Application of the Pavement DCP to Determine the Bearing Properties and Performance of Road Pavements" Proc. Int. Symp. On Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim Vol. 1, p.238-242.
- Kleyn, E.G. y Van Heerden (1983) "Using DCP Soundings to Optimise Pavement Rehabilitation", Proc. Annual Trans. Convention, Johannesburg, Report LS/83 Materials Branch, Transvaal Roads Dept. Pretoria, S. Africa.
- Land y Water Services (1994) "The Treatment of Saturated Dredgings using Quicklime" Report of Site Trials and Testing, Land and Water Services Ltd. Albury Surrey England.
- Landreth, R.E. (1982) "Physical Properties and Leach Testing of Solidified/Stabilized Industrial Wastes" Report Number EAP-600/2/82-099, U.S, Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268.
- Linn. David M. y Mark, Symons G. (1988) "Lime-Fly Ash Stabilization of Fine-Grained Soils" Australian Road Research, vol. 18 n° 3. pp 153-161.
- Little, D.L. (1995). "Stabilization of Pavement Subgrades & Base Courses with Lime".
- Little, D.L. (1991) "X-Ray Diffraction, Energy Dispersive Spectra and Scanning Electron Microscopic Evaluation of Stabilized Denver Clay Soils Containing Sulfates" Report to Chemical Lime Company, Fort Worth, Texas.
- Little, D.N. y Petry, T.M. (1992). "Recent Developments in Sulfate-Induced Heave in Treated Expansive Clays" Second Interagency Symposium on Stabilization of Soils and Other Materials, Metairie, Louisiana.
- Little, D.N. Thompson, M.R., Terrel, R.L., Epps, J.A. y Barenbeg E.J. (1987). "Soil Stabilization for Roadways and Airfields" Report ESL-TR-86-19, Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base, Florida.
- Littleton, I. (1995) "Some Observations on the Presence of Sulphates in Lime Stabilised Clay Soils" Buxton Lime Industries Ltd.
- López Laborda J.R. y Secades Gallego, F. "Estudio sobre la evolución a medio y largo plazo de una mezcla limo yesífero con cal". Simposio sobre Geotecnia de las infraestructuras del transporte. Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica (2000)

- López Lara T (1998).“Reflexión y análisis sobre el tratamiento de suelos con diferentes materiales”.. Curso Técnicas modernas de caracterización en la ciencia y la tecnología de suelos arcillosos.
- Lopez Lara T., Castaño M.V. y Zepeda Garrido, J.A. (1999). “Comparative study of the effectiveness of different additives on the expansion behavior of clays”.. Electronic Journal of geotechnical engineering. Vol. 4.
- López Lara, T. Hernández Zaragoza, J.B. y Pérez Rea, María de la Luz (2004), “Comportamiento de la compactación de suelos estabilizados. Geotecnia ambiental y mejora del terreno. 8º Simposio nacional de la Sociedad Española de Mecánica del suelo e Ingeniería Geotécnica.
- López Lara, T. López Cajún, C. Y Castaño, M.V. (2004).“Efectividad de la estabilización del suelo cal”. Geotecnia ambiental y mejora del terreno. 8º Simposio nacional de la Sociedad Española de Mecánica del suelo e Ingeniería Geotécnica.
- López Lara, T; Castaño, M.V. (2001). “Time dependency of CaO-Treated Expansive Soils”.. Electronic Journal of geotechnical engineering, Vol. 6.
- Lutenengger, A.J. y Dickson J.R. (1984) “Experiences With Drilled Lime Stabilisation in the Mid-West USA” Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides.
- Lutful I. Khan y Mohammad Sarker (1993) “Enzyme Enhanced Stabilization of Soil and Fly Ash” Fly Ash for Soil Improvement. Geotechnical Special Publication No. 36 ASCE
- Mackay, M. y Emery J: (1993) “Practical Stabilisation of Contaminated Soil” Land Contamination and Reclamation, Vol. 1, No 3, p. 149-155.
- Malone, P.G. y Jones, L.W. (1979) “Survey of Solidification/Stabilization Technology for Hazardous Industrial Wastes” Report Number EPA-60/2-76-182, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Malone, P.G., Jones, L.W y Larson P.J. (1980) “Guide to the Disposal of Chemically Stabilized and Solidified Waste” SW-872, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Malone, P.G. y Larson, R.J. (1983), “Scientific Basis of Hazardous Waste Immobilization” Hazardous and Industrial Solid Waste Testing: Second Symposium, ASTM STP 805, R.A. Conway and W.P. Gullledge Edited by the American Society for Testing and Materials, p. 168-177.
- Mateos, M. (1964) “Soil-Lime Research at Iowa State University” Proceedings of the ASCE 90 (SM 2), p. 127-153.
- Manual of Contract Documents for Highway Works, Volume 1: Specification for Highway works (December 1991 with amendments), HMSO, London.

- McDowell, C. (1959) "Stabilisation of Soils with Lime. Lime-Flyash, y Other Reactive Materials", Highway Research Board, Bull, 231, p. 60-66.
- MCHW 1 (1991) (Manual of Contract Documents for Highway Works), Vol. 1, Specification for Highway Works, Amended August 1993, HMSO, London.
- Ministerio de Fomento (2000) "Geotecnia vial en lo referente a materiales para la construcción de explanadas y drenajes". Orden Circular 326/00
- Minninck, J.L. (1967) "Reactions of Hydrated Lime with Pulverized Fuel Ash". In proceedings" Fly Ash Utilization Symposiums. U.S. Bureau of Mines Information Circular 8348, pp 287-315.
- Mitchell, J.K. (1976) "Fundamentals of Soil Behavior" John Wiley and Sons, Inc.
- Mitchell, J.K. (1986). "Practical problems from surprising soil behaviour". Jour. Geotechnical Eng., Asce. Vol. 112, nº 3 .
- Mitchell J.K. y Dermatas, D. (1990) "Clay Soil Heave Caused by Lime-Sulfate Reactions" ASTM Symposium, San Francisco, Innovations and Uses for Lime.
- Mitchell, J.K. y Hooper, D.R. (1961) "Influence of time between mixing and compaction on properties of a lime-stabilized expansive clay" Highway Research Board Bull. 304, 14-31.
- Mott MacDonald and Soil Mechanics Ltd (1994) "Study of the Efficiency of Site Investigation Practices", Department of Transport, TRL Project Report 60, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Moffatt, W.G., Pearsall, G.W. y Walff, J. (1965). "The Structure and Properties of Materials", Volume 1, Structure, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- MOP (1975). "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes", PG-3
- MOP (2001). "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puente"s. PG-3, Ed. Liteam.
- MOPT (1989). "Terraplenes y pedraplenes"
- Morilla, I (1994). "Propuesta de utilización de materiales yesíferos del triásico en el proyecto de terraplenes". III Simposio Nacional de Geotecnia Vial
- Mowafy, Y.M., Bauer, G.E. y Sakebs, F.H. (1985). "Treatment of expansive soils: laboratory study" Trans. Res. Rec., 1032, Washington D.C. 34-39.



- National Audit Office (1992), "Contracting for Roads" HMSO, London.
- National Lime Asociation (1985) "Lime Surry Pressure Injection", Bulletin 331, NLA Arlington, Virginia, USA.
- Nelson J.D. y Miller, J.D. (1992) "Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering" John Wiley Pub.
- Nettleton, A., Robertson, I. y Smith, J.H. (1996) "Treatment of Silt using Lime and PFA to form Embankment Fill for the New A13" Lime Stabilisation, Edited by C D F Rogers, S. Glendinning and N. Dixon, Thomas Telford Ltd, London.
- New Civil Engineer (1982) "Lime Stabilises Subgrade", 23.09.82, Thomas Telford, London.
- Noble, D.F. y Anday M.C. (1967) "Migration of Lime Deposited in Drill Holes", Virginia Highway Research Council Publication.
- Okasha, T.M. y Abduljauwad, S.N. (1992) "Expansive soil in Al-Madinah, Saudi Arabia" J. Applied Clay Science, 7, 271-289.
- Olalla, D.C. Ferández, D.T. y Fraile D.M.J. (2004). "El ataque por los sulfatos a las estabilizaciones de suelos con cal". IV Simposio Nacional de Geotecnia Vial.
- Osula, D.O.A. (1996) "A comparative Evaluation of Cement and Lime Modification of Laterite" Engineering Geology, Vol., 42. No 1, p. 71-81.
- Ortuño Abad, L. y Rodríguez, J.L. (2000). "La estabilización del suelo con cal como mejora de suelos. Estudio realizado en el tramo V de la Autovía A-381: Jerez - Los Barrios II". Congreso Andaluz de Carreteras. Cádiz
- Oteo Mazo C. (2004). "Los suelos marginales; características y aprovechamientos". IV Simposio Nacional de Geotecnia Vial.
- Parsons, A.W. (1992) "Compaction of Soils and Granular Materials" a Review of Research performed at the Transport Research Laboratory, HMSO, London.
- Parson, A.W. y Boden, J.B. (1979) "The Moisture Condition Test and its Potencial Application in Earthwords" Supplementary Report 522, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Perry J. (1989) "A Survey of Slope Condition on Motorway Earthworks in England and Wales", Department of Transport, TRRL Research Report 199, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Perrin R M S (1971) "The Clay Mineralogy of British Sediments" Mineralogical Society (Clay Minerals Group) London.

- Perry, J., Snowdon, R.A. y Wilson, P.E. (1996) "Site Investigation for Lime Stabilisation of Highway works" in *Advances in Site Investigation* (Ed. C. Craig), Thomas Telford, London.
- Perry, J. Snowdon, R.A y Wilson, P.E. (1996) "Site Investigation for Lime Stabilisation of Highway Works" *Advances in Site Investigation Practice*, ISBN 0-72-772513-0. Thomas Telford, p.85-96.
- Perry, J. Snowdon, R.A y Wilson, P.E. (1995) "Site Investigation for Lime Stabilisation of Highway Works" Department of Transport.
- Petry, T.M. (1994). "Studies of factors causing and influencing localized heave of lime treated clay soils (sulphate induced heaved)". Contract Rep., U.S. Army engineers, waterways experiment station, Vicksburg, Mississippi.
- Petry, T.M. y Little, D.N. (1993), "Evaluation of Problematic Sulfate Levels Causing Sulfate Induced Heave in Lime-Stabilized Clay Soils" *Transportation Research Record*.
- Powell, W.D., Potter, J.F., Mayhew, H.C. y Nunn M.E. (1984) "The Structural Design of Bituminous Roads" Laboratory Report 1132, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Puente Tamayo, E.M. (1986) "Estudio de la estabilización de suelos arcillosos utilizando cal". Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Rogers, C.D. y Glendinning, S. (1993) "Stabilisation of Embankment Clay Fills Using Lime Piles" *Proceedings of the International Conference on Engineered Fills*, Newcastle-upon-Tyne, Thomas Telford, London.
- Rogers C.D. y Bruce, C.J. (1990) "Slope Stabilisation Using Lime" *Lime Stabilisation 90 Symposium*, Sutton Coldfield, British Aggregate Construction Materials Industries, 1 March.
- Rogers C.D. y Glendinning S (1993) "Stabilisation of Embankment Clay Fills Using Lime Piles", *Proceedings of the International Conference on Engineered Fills*, Newcastle-upon-Tyne, September, p. 226-238, Thomas Telford, London.
- Rogers C.D. y Glendinning, S (1994) "Deep Slope Stabilisation Using Lime" *Transportation Research Record 1440*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C. USA p.63-70.
- Rogers. C.D. y Glendinning, S. (1996) "Modification of Clay Soils Using Lime" *Lime Stabilisation*, Edited by C D F Rogers, S. Glendinning and N Dixon, Thomas Telford, London.
- Rogers, C.D., Glendinning, S. y Roff, T.E.J. (1996) "Lime Modification of Clay Soils for Construction Expediency", in press.

- Rowlands, G.O., Arabi, M. y Deplak, R (1987) "Lime and the plasticity of clay" J. Insyiy. Highway Trans., 21-24.
- Roy, A. Eaton, H.C., Cartledge, F.K y Tittlebaum, M.E. (1993) "Solidification/Stabilization of a Synthetic Electroplating Sludge in Cementitious binders containing NaOH" Journal of Hazardous Materils, Vol 34-35. p-53-71.
- Ruenkairergsa, T. y Pimsarn, T. (1982) "Deep Hole Lime Stabilisation for Unstable Clay Shale Embankment", Proceedings of the Seventh S E Asia Geotechnics Conference, Hong Kong, 22-26 November, p. 631-645.
- Ruff, C.G. y Clara Ho (1996) "Time-Temperature Strenght-Reaction Product Relationships in Lime-Bentonite-Water Mixture". Highway Research Record. No 139. p. 42-60.
- Russell, D J y Parkes, A (1979) Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 12 p. 107-116.
- Sahel N. (1993) "Treatment of Calvareous Expansive Clys" Fly Ash For Soil Improvement. Geotechnical Special Publication no. 36.
- Séller, M. (1977) "A Long Range Durability Study of Lime Stabilised Bases at Military Posts in the Southwest" Bulletin 328, National Lime Association WSA.
- SETRA (1981) "Catalogue des Structures Types de Chaussees Newves" (Ref. Circulaire R/IN 01/77-1156), Planche Complementaire No 18. Structures en Grave-bitume et en Grave non traitee, Laboratoire Central des Ponts et Chaussees (LCPC), Paris.
- SETRA-LCPC (1994). "Le traitement des sols á la chaux et/ou liants hydrauliques, Guide technique en projet".
- SETRA LCPC, (1992) . "Realisation des Remblais et des couches de forme" (Fascículos I y II)
- SETRA-LCPC (1972). "*Recommandation pour le traitement en place des sols fins á la chaux*"
- Sglendinning y N. Dixon (1996) . "Lime Stabilisation", Ed. CAF ROGERS,
- Shanker, N., Babu, N. y Maruti, G. (1989) "Use of Lime Soil Piles for In-Situ Stabilisation of Black Cotton Soils" Indian Geotechnical Conference Vol 1 p. 149-153.
- Shaw, H F (1981) "Mineralogy and Petrology of the Argillaceous Sedimentary Rocks of the UK" Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol 14 No 4.
- Sherwood, P.T. (1993), "Soil Stabilisation With Cement and Lime" Transport Research Laboratory State of the Art Review, HMSO, London.

- Sherwood, P.T. (1992) "Stabilised Capping Layers Using Either Lime, or Cement, or Lime and Cement", Department of Transport, TRRL Contractor Report 151, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Sherwood, P.T. (1962) "The Effects of Sulphates on Cement and Lime Stabilised Soil", Roads and Road Construction, Vol 40, No 470, p. 34-40.
- Sherwood, P.T. (1976) "Views of the Road Research Laboratory on Soil Stabilisation in the United Kingdom" Cement Lime and Gravel, Vol 42, No. 9, p.277-280.
- Silveira Lovato, R., Péres Núñez, W y Augusto Ceratti, J ( ). "Mechanical behaviour of a lateritic soil stabilized with calcitic and dolomitic lime". Geotecnia ambiental y mejora del terreno. 8º Simposio nacional de la Sociedad Española de Mecánica del suelo e Ingeniería Geotécnica.
- Snedker, E.A. y Temporal, J. (1990) "M40 Motorway Bandury IV Contract – Lime Stabilisation" Highways and Transportation, December, p.7-8.
- Snethen, D.R. y Jonson; L.D. (1980). "Evaluation of soil suction for filter paper" Paper No. GL-80-4. U.S. Army Corps Eng. Wat. Exp. Sta. Vicksburg, Miss.
- Sopeña Mañas, L. (2000). "Terraplenes". Simposio Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte.
- Sorenses, A y Hayven, M (1982) "The Dynatest 8000 Falling Weight Deflectometer Test System" Proceedings of the International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, 23-25 June 1982, p. 464-470.
- Stanczyk, T.F., Senefelder, B.C. y Clark, J.H. (1982) "Solidification/Stabilization Processes Appropriate to Hazardous Chemicals and Waste Spills", Hazardous Material Spills, Milwaukee, Wisconsin, USA p.79-84.
- Sutherland, H.B. y otros (1968) "Engineering and Related Properties of Pulverized Fuel Ash" Journal of the Institution of Highway Engineers, vol. 15, pp 19-35.
- Sweeney D. (1987) "Site Report on the Construction of a Lime Modified Subgrade on Highways No. 339-01 and 334-02", Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan. Canada.
- Sweeney, D.A., Wong, D.K.H. y Fredlund, D.G. (1988) "Effect of Lime on Highly Plastic Clay with Special Emphasis on Ageing", Transportation Research Record No 1190 p. 13-23.
- Sweeney, D.A. Fredlund, D.G., Gan, J.K. y Widger, R.A. (1989) "Evaluation of Environmental Influences on a Lime-Modified Highly Plastic Soil, Paper Presented to RTAC Meeting, Calgary, Alberta, September 17-21, 1989.

- Taylor, W. H y Arman, A (1960) "Lime Stabilisation Using Preconditioned Soils" Highway Research Board, Bull No 262, p. 1-19.
- Terasai, M., Tanaka, H. y Okamura, T. (1979) "Engineering Properties of Lime Treated Marine Soils and Deep Mixing Method" Proceedings 6th Asian Regional Conference on SMFE, Vol. 1 p.191-194.
- Thereadgold, L. (1996) "Slope Stabilisation using Reinforced Lime Piles", Lime Stabilisation, Edited by C D F Rogers, S. Glendinning and N Dixon, Thomas Telford, London.
- Thomas, C.E. Jones, W. G. Y Davis, W.C. (1965) "Lime and Phosphoric Acid Stabilisation in Missouri", Highway Research Record No 92, 43-68.
- Thompson, M.R. (1967) "Factors Influencing the Plasticity and Strength of Lime-Soil Mixtures" Bulletin 492, Engineering Experiment Station, University of Illinois – Champaign- Urbana.
- Thompson, M.R. (1966) "Lime Reactivity of Illinois Soils" Journal of Soil Mechanics and Foundation, ASCE, Vol. 92, No. SMS.
- Thompson, M.R. (1970) "Suggested Method of Mixture Design Procedures for Lime-Treated Soils" American Society of Testing and Materials, Special Technical Publication No. 479.
- Thompson, M.R. y Eades J.L. (1970) "Evaluation of Quick Test for Lime Stabilisation" Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE. Vol. 96 SM2 p.795-800.
- Tittlebaum, M.E. Seals, R.K. Carledge, F.K. y Engels, S. (1985) "State-of the Art on Stabilization of Hazardous Organic Liquid Wastes and Suludges", Critical Reviews in Environmental Control, Vol 15, No 2, p.179.
- Transportation Research Board (1987). "Lime Stabilization. Reactions, properties de sing and construction research council"
- Transportation Research Board (1987) "State of the Art Report No 5. Lime Stabilization. Yong, R.N. and Warkentin, B.P. (1966). Introduction to Soil Behavior, MacMillian, New York.
- Tsytoovich, N.A., Abelev, M. Yu y Takhirow, I.G. (1971) "Compacting Saturated Loess by Means of Lime Piles" 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Budapest, p. 837-842.
- U.S. Environmental Protection Agency (1980), "Enverybody's Problem: Hazardous Wastes" SW-826, Washington, D.C.
- Usmen M.A. y Chou C.P. (1990) "Stabilization of Class F Fly Ash with Lime and Cement", Proccedings of the 22 nd Mid-Atlantic Industrial Waste.

- Usmen M.A. y John J. Bowders, Jr, (1988) "Stabilization Characteristics of Class F Fly Ash". Transportation Research Record pp 59-69.
- Van Ganse, R.F. (1973) "Immediate Stabilisation of Wet Soils", Proceedings of the Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Part 2, P. 233-237"
- Van Gasem R, F. (1974) "Immediate Amelioration of Wet Cohesive Soils by Quicklime", Highway Research Record No 501, p. 42-53.
- Varios, (2000) "Jornada sobre el uso de la cal en la estabilización de suelos en Andalucía", Córdoba
- Venkatanarayana P., Reddy P. Suryanarayana, Babu, N. Y Armes V (1989), "Ground Improvement by Sand-Lime Columns" Indian Geotechnical Conference, Visakhapatnam, Vol. 1.
- Verhasselt, A.F (1990) "The Nature of the Immediate Reaction of Lime in Treating Soils for Road Construction", American Society for Testing Materials STP 1095, Philadelphia, 1990, p. 7-17
- Wagemann, R. (1978) "Some Theoretical Aspects of Stability and Solubility of Inorganic Arsenic in the Freshwater Environment", Water Research, Vol 12, p. 139-145.
- Wang, W.T. (1989) "Experimentation of Improving Soft Clay With Lime Column" Int. Conf. On Engineering Problems of Regional Soils, p. 477-480.
- Weng, C.H. y Huang, C.P. (1994) "Treatment of metal Industrial Wastewater by Fly Ash and Cement Fixation", Journal of Environmental Engineering, Vol. 120, No. 6, November/December, p. 1470-1487.

**ANEJO I.**

**ENSAYOS DE LABORATORIO**

## **INDICE ENSAYOS DE LABORATORIO**

### **1. CARBONATOS SUELOS**

- 1.1 Ensayos de identificación
- 1.2 Límites de Atterberg
- 1.3 Miniproctor
- 1.4 Compactación probetas cal
- 1.5 Compresión simple a los 3 días
- 1.6 Compresión simple a los 10 días
- 1.7 Compresión simple a los 30 días

### **2. COMPORTAMIENTO CAL**

- 2.1 Ensayos de identificación
- 2.2 Corte rápido 1 punto cal
- 2.3 Presión de hinchamiento
- 2.4 Carbonatos

### **3. EFECTOS SULFATOS AGUA**

- 3.1 Ensayos de identificación
- 3.2 Miniproctor
- 3.3 Compactación probetas cal
- 3.4 Compresión simple
  - 3.4.1 Maduración 7 días
  - 3.4.2 Maduración 30 días
  - 3.4.3 Sin maduración 7 días
  - 3.4.4 Sin maduración 30 días
  - 3.4.5 Maduración 90 días
  - 3.4.6 Sin maduración 90 días
  - 3.4.7 Maduración 360 días
  - 3.4.8 Sin maduración 360 días



#### **4. EFECTO SULFATO SUELO**

- 4.1 Ensayos de identificación
- 4.2 Límites de Atterberg
- 4.3 Miniproctor
- 4.4 Preparación de probetas
- 4.5 Compresión simple
  - 4.5.1 Rotura a los 48 días
  - 4.5.2 Rotura a los 356 días
  - 4.5.3 Rotura a los 909 días

#### **5. PERÍODO DE MADURACIÓN**

- 5.1 Límites de Atterberg
- 5.2 Miniproctor
- 5.3 Preparación de probetas
- 5.4 Corte rápido 1 punto
- 5.5 Edómetro
- 5.6 Presión de hinchamiento

#### **6. SULFATOS**

- 6.1 Temperatura de curado
  - 6.1.1 Miniproctor
  - 6.1.2 Preparación de probetas
- 6.2 Compresión simple a los 3 días
- 6.3 Compresión simple a los 7 días
- 6.4 Compresión simple a los 30 días
- 6.5 Compresión simple resultados a los 90 días

# **1. CARBONATOS SUELOS**

## **1.1 Ensayos de identificación**



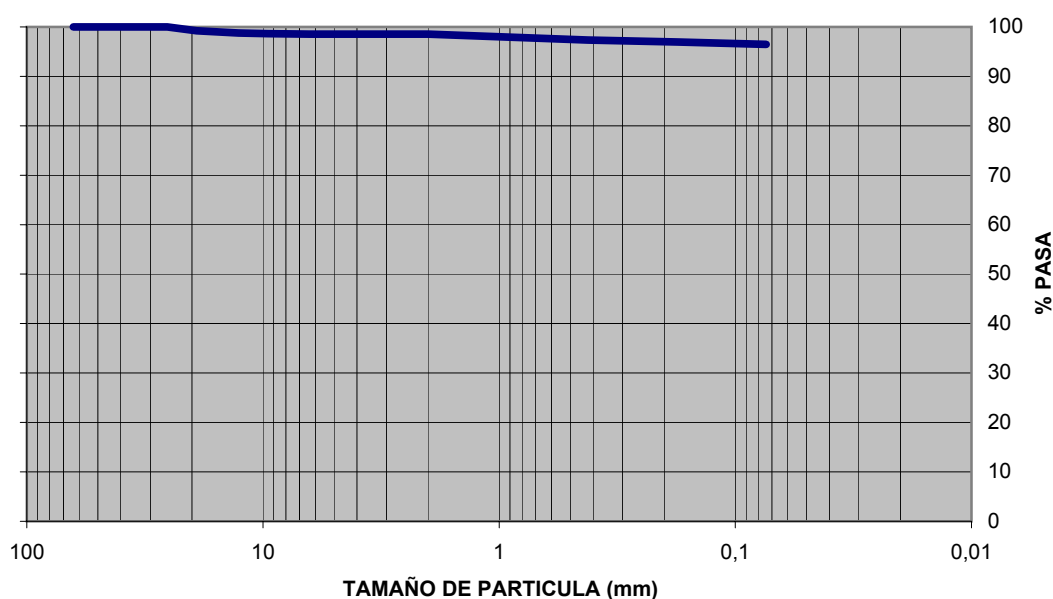
OBRA:

BOBADILLA

CLIENTE:

CODIGO: 232801  
CALICATA: 0  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: TAMIZ # 4  
DESCRIPCION: EFECTO CARBONATOS

## ANÁLISIS GRANULOMETRICO



Tamices	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	40	80	200
Apertura(mm)	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,52	6,35	4,75	2	0,42	0,177	0,074
% que pasa	100	100	100	100,00	99,23	98,76	98,65	98,55	98,54	98,54	97,359	96,947	96,46
Tamaños partículas	GRUESAS				FINAS				GRUESA	MEDIA	FINA		
	GRAVAS								ARENAS				

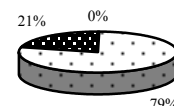
## LÍMITES DE ATTERBERG NLT 105-106

Límite líquido (WL)..... 61,58 %  
Límite plástico (WP)..... 37,90 %  
Ind. Plasticidad (IP)..... 23,67

## COMPOSICION GRANULOMETRICA

% Grava..... 1,455  
% Arena..... 2,09  
% Finos..... 96,46

## Porcentajes



## COMPONENTES SECUNDARIOS

Sulfatos, % SO<sub>4</sub>.....  
Carbonatos, % CO<sub>3</sub>Ca.....  
Materia Organica %.....

## CONDICIONES DE ESTADO

Densidad aparente..... Tn/m<sup>3</sup>  
Humedad natural..... %  
Densidad seca ..... Tn/m<sup>3</sup>

## CLASIFICACION

Casagrande.....  
PG-3.....

## **1.2 Límites de Atterberg**



OBRA: *BOBADILLA*  
CLIENTE:

CODIGO: 232101  
CALICATA: BANDEJA-A  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: MEZCLA  
DESCRIPCION: EFECTO CARBONATOS SUELO

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	20
TARA	47,23
TARA+SUELO+AGUA	70,63
TARA+SUELO SECO	60,84
HUMEDAD	72

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	49,82
TARA+SUELO+AGUA	68,9
TARA+SUELO SECO	61,26
HUMEDAD	67

**LIMITE LIQUIDO:**

**69,79**

**LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	49,73
TARA+SUELO+AGUA	55,98
TARA+SUELO SECO	54,27
HUMEDAD	38

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	49,63
TARA+SUELO+AGUA	56,63
TARA+SUELO SECO	54,7
HUMEDAD	38

**LIMITE PLASTICO:**

**37,87**

**INDICE DE PLASTICIDAD:**

**31,92**

OBRA: *BOBADILLA*

CLIENTE:

CODIGO: 232801  
CALICATA: BANDEJA-B  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: MEZCLA  
DESCRIPCION: EFECTO CARBONATOS SUELO

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	19
TARA	49,51
TARA+SUELO+AGUA	73,05
TARA+SUELO SECO	63,23
HUMEDAD	72

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	53,87
TARA+SUELO+AGUA	76,16
TARA+SUELO SECO	67,39
HUMEDAD	65

**LIMITE LIQUIDO:****68,48**

---

**LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	55,35
TARA+SUELO+AGUA	61,59
TARA+SUELO SECO	59,9
HUMEDAD	37

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	49,46
TARA+SUELO+AGUA	55,49
TARA+SUELO SECO	53,86
HUMEDAD	37

**LIMITE PLASTICO:****37,09**

---

**INDICE DE PLASTICIDAD:****31,38**

---



OBRA: *BOBADILLA*  
CLIENTE:

CODIGO: 232801  
CALICATA: BANDEJA-C  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: MEZCLA  
DESCRIPCION: EFECTO CARBONATOS SUELO

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	20
TARA	51,29
TARA+SUELO+AGUA	73,41
TARA+SUELO SECO	64,12
HUMEDAD	72

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	48,1
TARA+SUELO+AGUA	71,71
TARA+SUELO SECO	62,16
HUMEDAD	68

**LIMITE LIQUIDO:**

**70,54**

**LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	48,06
TARA+SUELO+AGUA	54,74
TARA+SUELO SECO	52,93
HUMEDAD	37

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	53,78
TARA+SUELO+AGUA	60,75
TARA+SUELO SECO	58,88
HUMEDAD	37

**LIMITE PLASTICO:**

**36,92**

**INDICE DE PLASTICIDAD:**

**33,62**



## **1.3 Miniproctor**



REFERENCIA: 232801 TIPO MUESTRA: MEZCLA  
SONDEO: BANDEJA-A DESCRIPCIÓN: "EFECTO CARBONATOS-SUELO"  
PROFUNDIDAD: FECHA: 30/12/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

## MOLDE PEQUEÑO -MAZA GRANDE

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
150gr/25cm <sup>a</sup>	1570,8	1739	116,92	284,87	260,85	143,93	167,95	16,69%	168,2	144,14	1,68
150gr/30cm <sup>a</sup>	1570,8	1745,2	118,55	292,61	264,28	145,73	174,06	19,44%	174,4	146,01	1,70
150gr/35cm <sup>a</sup>	1570,8	1746,1	116,76	291,6	258,93	142,17	174,84	22,98%	175,3	142,54	1,66
150gr/40cm <sup>a</sup>	1570,8	1744,2	116,66	289,12	253,34	136,68	172,46	26,18%	173,4	137,42	1,60
MUESTRA ANTES											

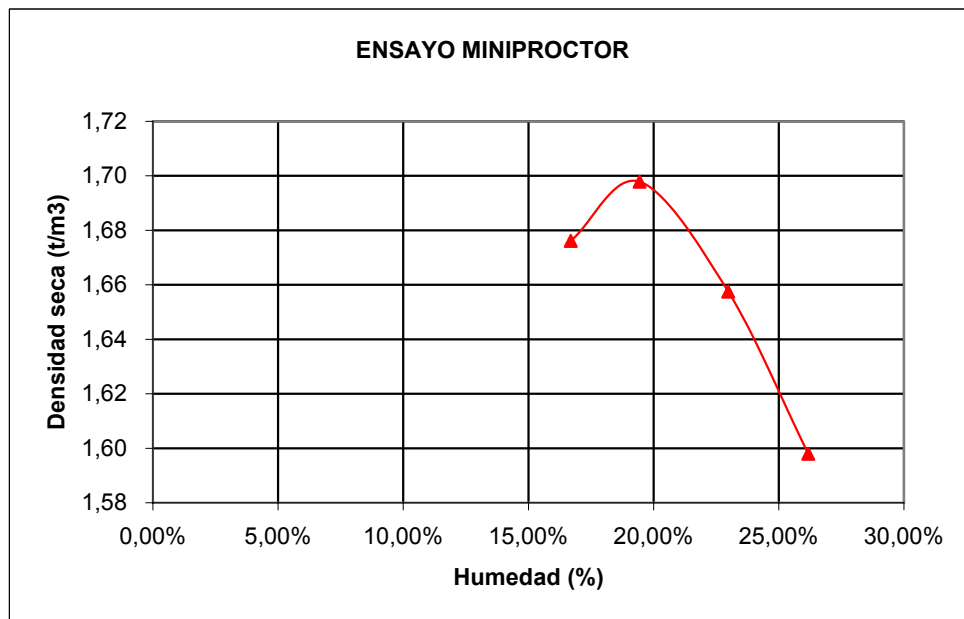
MOLDE-1  
MOLDE-2  
MOLDE-3  
MOLDE-4

HUM. MUESTRA 16,69%  
HUM. PROCTOR 19,44%  
DIFERENCIA 2,75%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: BANDEJA-A  
MATERIAL: "EFECTO CARBONATOS-SUELO"



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 19,44% D. MAX 1,70 t/m3



REFERENCIA: 232801 TIPO MUESTRA: MEZCLA  
SONDEO: BANDEJA-B DESCRIPCIÓN: "EFECTO CARBONATOS SUELO"  
PROFUNDIDAD: FECHA: 30/12/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:  
MOLDE PEQUEÑO-MAZA GRANDE

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
150gr/25cm <sup>a</sup>	1570,8	1738,09	92,62	259,85	235,9	143,28	167,23	16,72%	167,29	143,33	1,67
150gr/30cm <sup>a</sup>	1570,8	1746,8	91,83	267,41	237,99	146,16	175,58	20,13%	176	146,51	1,70
150gr/35cm <sup>a</sup>	1570,8	1743,7	92,81	265,27	232,67	139,86	172,46	23,31%	172,9	140,22	1,63
150gr/40cm <sup>a</sup>	1570,8	1741,2	90,55	260,5	224,85	134,3	169,95	26,55%	170,4	134,66	1,57
MUESTRA ANTES											

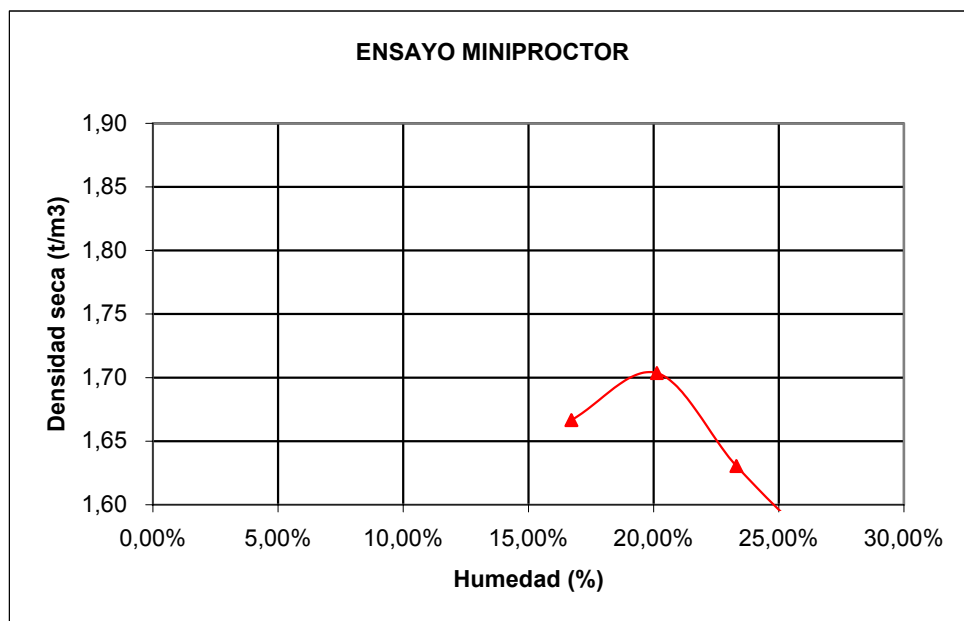
MOLDE-1  
MOLDE-2  
MOLDE-3  
MOLDE-4

HUM. MUESTRA 16,72%  
HUM. PROCTOR 20,13%  
DIFERENCIA 3,41%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: BANDEJA-B  
MATERIAL: "EFECTO CARBONATOS SUELO"



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 20,13% D. MAX 1,70 t/m3



REFERENCIA: 232801 TIPO MUESTRA: MEZCLA  
SONDEO: BANDEJA-C DESCRIPCIÓN: "EFECTO CARBONATOS-SUELO"  
PROFUNDIDAD: FECHA: 30/12/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

## MOLDE PEQUEÑO-MAZA GRANDE

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
150gr/25cm³	1570,8	1741,6	92,06	262,4	236,23	144,17	170,34	18,15%	170,8	144,56	1,68
150gr/30cm³	1570,8	1743,7	90,66	263,1	234,32	143,66	172,44	20,03%	172,9	144,04	1,67
150gr/35cm³	1570,8	1744,6	91,92	265,02	231,77	139,85	173,1	23,78%	173,8	140,42	1,63
150gr/40cm³	1570,8	1740,3	92,59	261,41	225,12	132,53	168,82	27,38%	169,5	133,06	1,55
MUESTRA ANTES											

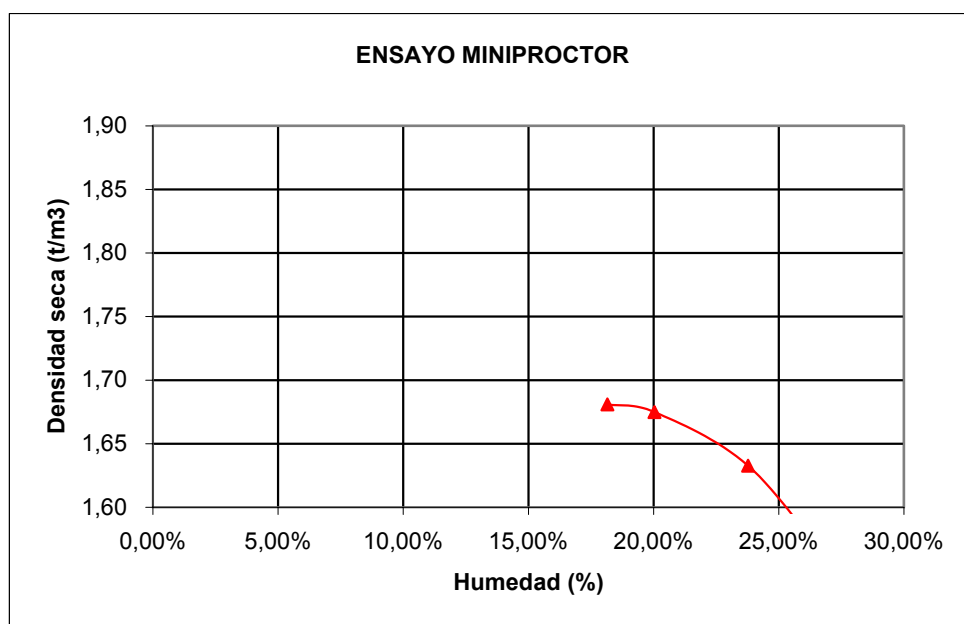
MOLDE-1  
MOLDE-2  
MOLDE-3  
MOLDE-4

HUM. MUESTRA 18,15%  
HUM. PROCTOR 18,15%  
DIFERENCIA 0,00%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: BANDEJA-C  
MATERIAL: "EFECTO CARBONATOS-SUELO"



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 18,15% D. MAX 1,68 t/m3

## **1.4 Compactación probetas cal**

<b>REFERENCIA:</b>	232801	<b>TIPO MUESTRA:</b>	MEZCLA
<b>SONDEO:</b>	BANDEJA-A	<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFFECTO CARBONATOS SUELO
<b>PROFUNDIDAD:</b>		<b>FECHA:</b>	13/01/2004
<b>OBRA:</b>	BOBABILLA	<b>CLIENTE:</b>	

NOTA: BANDEJA-A1= 600gr TERRENO+30gr CAL+129 cm<sup>3</sup> AGUA  
BANDEJA-2 =600gr TERRENO+60 gr CAL+144 cm<sup>3</sup>AGUA

[illegible]

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDJA-B-1A	1570,8	1739	0	765	630	630	765	21,43%	168,2	138,52	1,61
BANDJA-B-1B	1570,8	1738,9	0	765	630	630	765	21,43%	168,1	138,44	1,61
BANDJA-B-1C	1570,8	1738,7	0	765	630	630	765	21,43%	167,9	138,27	1,61
BANDJA-B-2A	1570,8	1734,9	0	810	660	660	810	22,73%	164,1	133,71	1,55
BANDJA-B-2B	1570,8	1735,9	0	810	660	660	810	22,73%	165,1	134,53	1,56
BANDJA-B-2C	1570,8	1736,5	0	810	660	660	810	22,73%	165,7	135,01	1,57
MUESTRA ANTES											



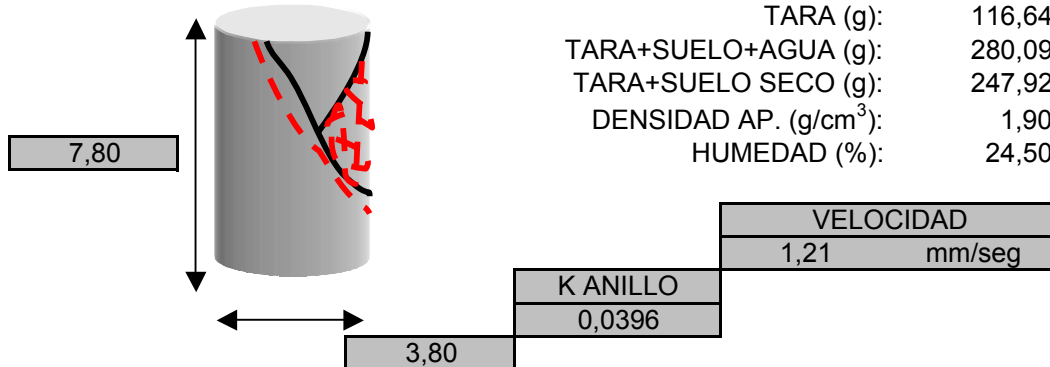


## **1.5 Compresión simple a los 3 días**

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA A-1A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

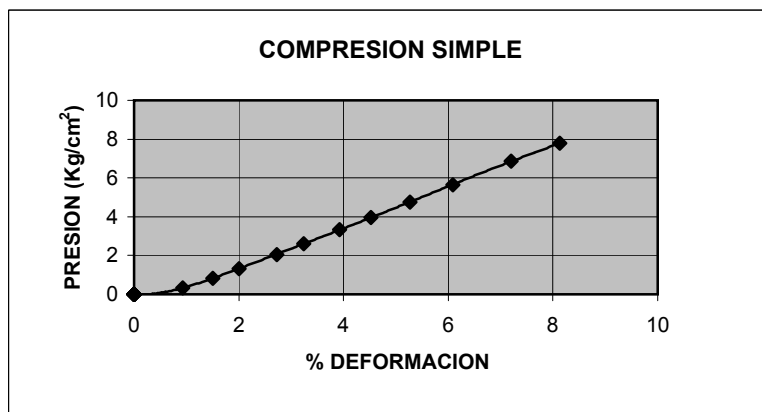
**TIPO MUESTRA:** MEZCLA  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO CARBONATOS-SUELO  
**FECHA:** 16/01/047  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g): 167,84  
 TARA (g): 116,64  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 280,09  
 TARA+SUELO SECO (g): 247,92  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,90  
 HUMEDAD (%): 24,50



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0		0	
0,33,32	0	180	72	0,31	0,92	
0,54,82	2	80	117	0,84	1,50	
1,13,72	3	160	156	1,33	2,00	
1,41,84	5	180	213	2,06	2,73	
2,2,21	7	93	253	2,61	3,24	
2,28,09	9	100	306	3,32	3,92	
2,52,09	11	70	353	3,96	4,53	
3,21,06	13	128	411	4,76	5,27	
3,53,00	16	40	475	5,66	6,09	
4,34,75	19	130	562	6,86	7,21	
5,09,97	22	60	634	7,79	8,13	R
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	7,79
% DEF	8,13

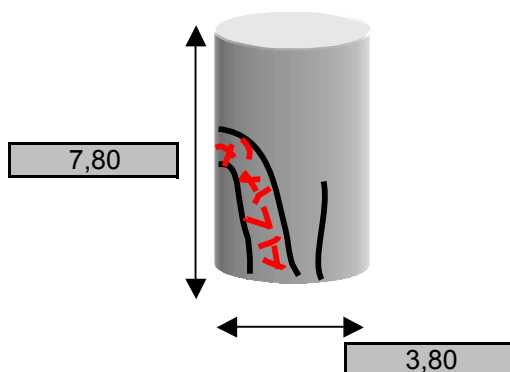


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 3 DÍAS

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA A-2A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	MEZCLA
DESCRIPCIÓN:	EFEECTO CARBONATOS-SUELO
FECHA:	16/01/2004
CLIENTE:	

PESO DE TESTIGO (g):	163,01
TARA (g):	116,91
TARA+SUELO+AGUA (g):	272,12
TARA+SUELO SECO (g):	240,11
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,84
HUMEDAD (%):	25,98

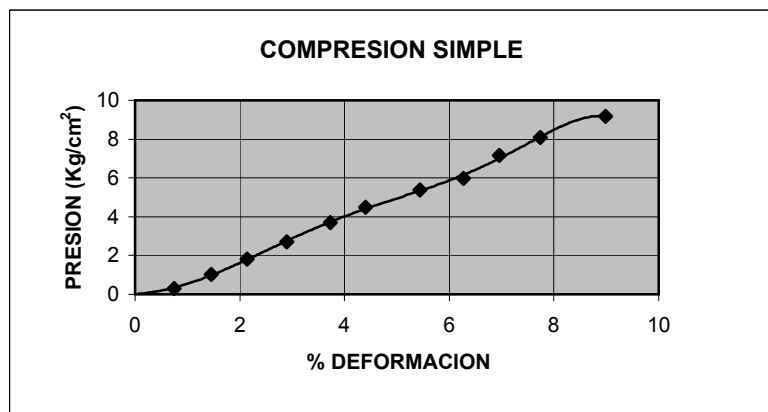


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

<b>Q<sub>u</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	9,17
<b>% DEF</b>	8.99

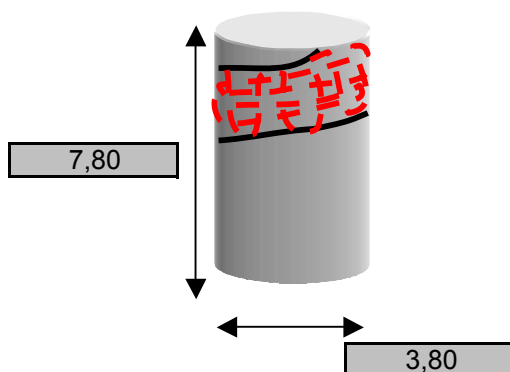


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 3 DÍAS

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA B-B1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	MEZCLA
DESCRIPCIÓN:	EFEECTO CARBONATOS-SUELO
FECHA:	16/01/2004
CLIENTE:	

PESO DE TESTIGO (g):	167,15
TARA (g):	118,36
TARA+SUELO+AGUA (g):	281,04
TARA+SUELO SECO (g):	249,43
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	24,12

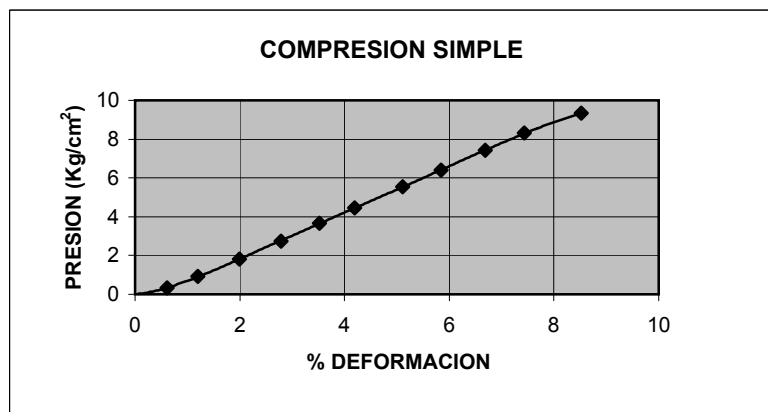


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,34
% DEF	8.53

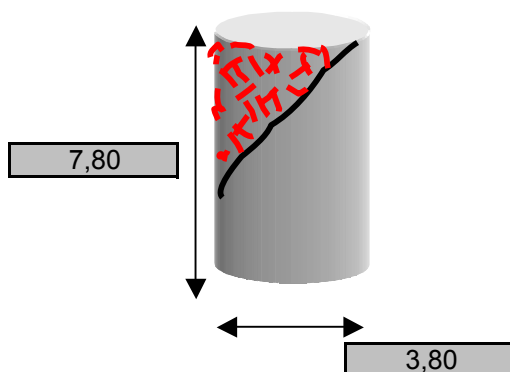


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 3 DIAS

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA B-2A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	MEZCLA
DESCRIPCIÓN:	EFFECTOS CARBONATOS-SUELO
FECHA:	16/01/2004
CLIENTE:	

PESO DE TESTIGO (g):	162,42
TARA (g):	112,97
TARA+SUELO+AGUA (g):	272,88
TARA+SUELO SECO (g):	240,07
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,84
HUMEDAD (%):	25,81

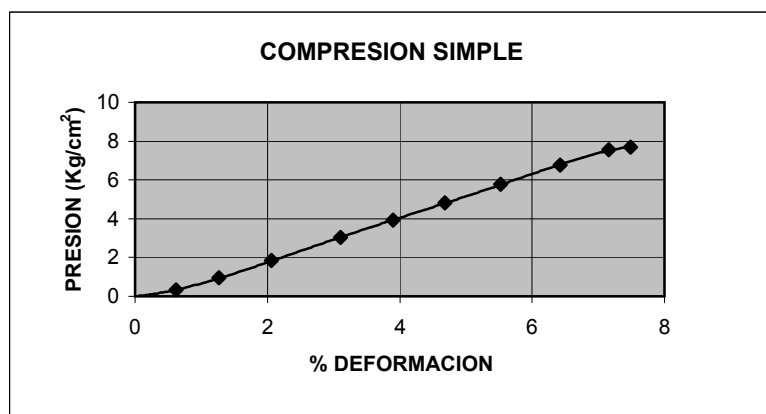


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	7,68
% DEF	7.49

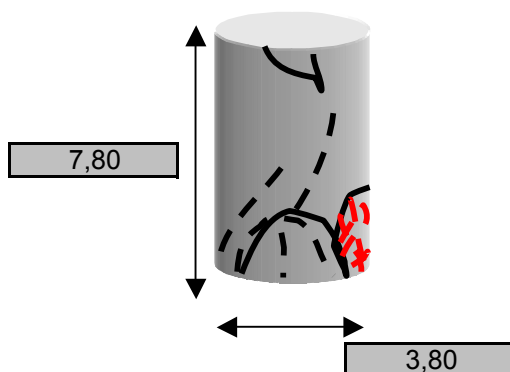


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 3 DÍAS

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA C-1A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MEZCLA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO CARBONATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	16/01/2004
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	167,28
TARA (g):	118,55
TARA+SUELO+AGUA (g):	285,12
TARA+SUELO SECO (g):	253,97
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	23,00

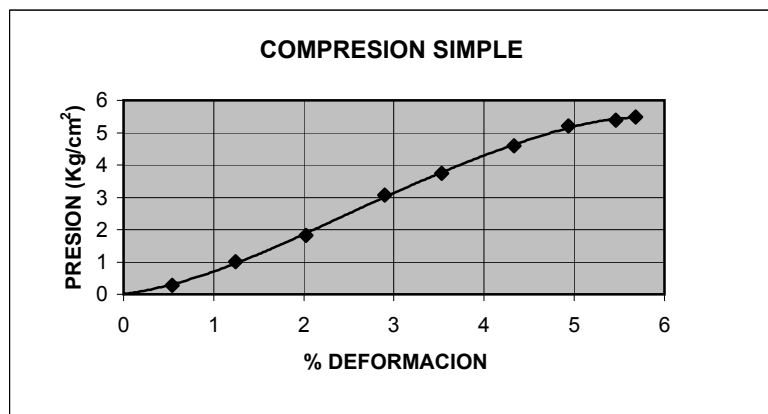


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	5,48
% DEF	5.68

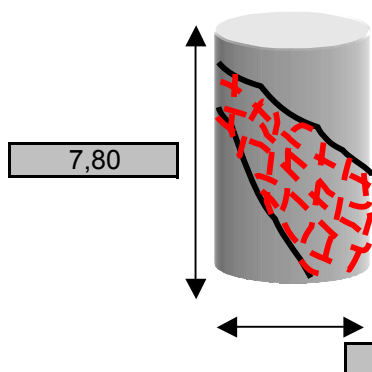


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 3 DÍAS

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA C-2A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MEZCLA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO CARBONATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	16/01/2003
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	164,51
TARA (g):	116,63
TARA+SUELO+AGUA (g):	277,78
TARA+SUELO SECO (g):	246,99
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	23,62

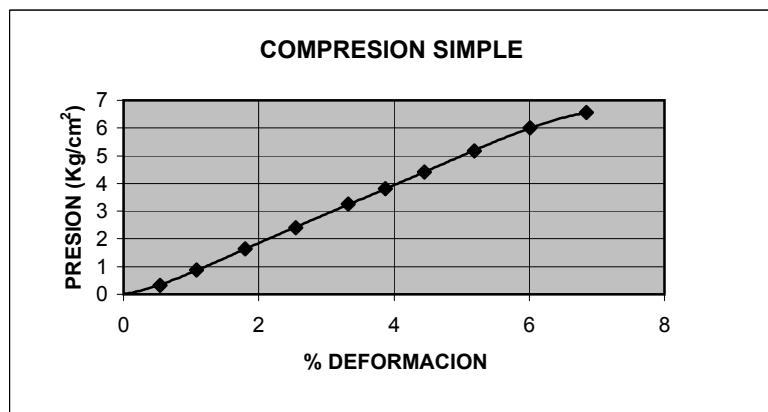


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	6,55
% DEF	6.85



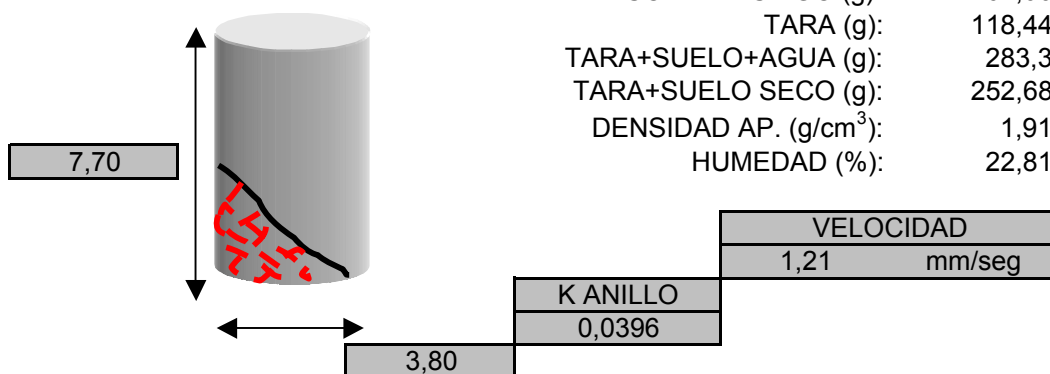
**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 3 DÍAS

## **1.6 Compresión simple a los 10 días**

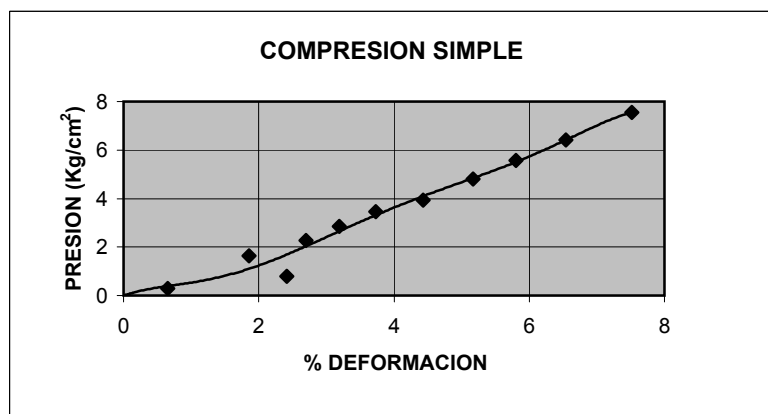


<b>REFERENCIA:</b>	232801	<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO CARBONATOS SUELO
<b>CALICATA:</b>	BANDEJA-A	<b>DESCRIPCIÓN:</b>	HECHOS EL DIA=31/01/04
			ROTURA A LOS 10 DIAS
<b>PROFUNDIDAD:</b>	BANDEJA-A-1B	<b>FECHA:</b>	23/01/2004
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA	<b>CLIENTE:</b>	
<b>NOTA P.B.:</b>			

PESO DE TESTIGO (g):	167,06
TARA (g):	118,44
TARA+SUELO+AGUA (g):	283,3
TARA+SUELO SECO (g):	252,68
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	22.81

[illegible]

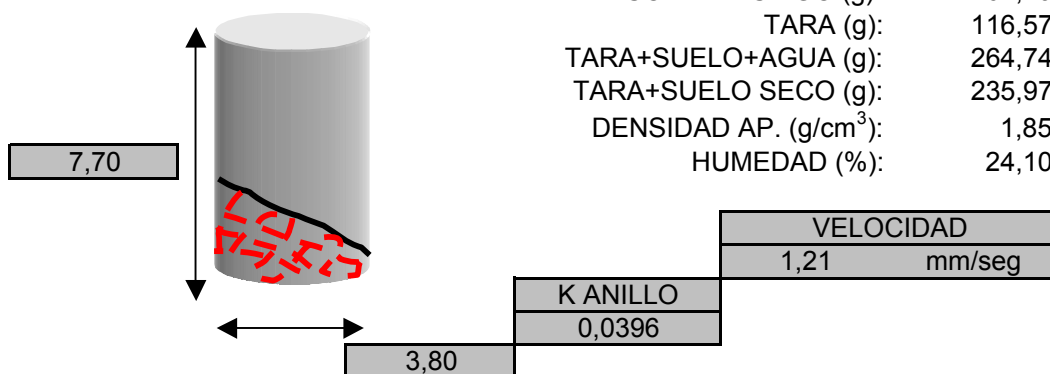
$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	7,56
% DEF	7.52



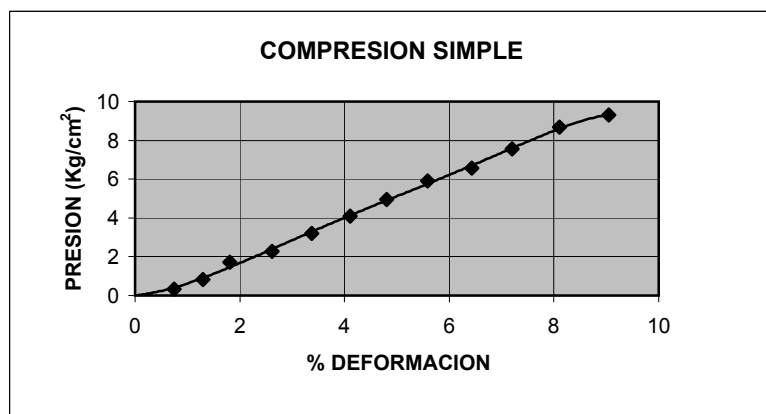
**OBSERVACIONES:** ESTUFA 50ª

<b>REFERENCIA:</b>	232801	<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO CARBONATOS SUELO
<b>CALICATA:</b>	BANDEJA-A	<b>DESCRIPCIÓN:</b>	HECHOS EL DIA 31/01/04
			ROTURA A LOS 10 DIAS
<b>PROFUNDIDAD:</b>	BANDEJA-A-2B	<b>FECHA:</b>	23/01/2004
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA	<b>CLIENTE:</b>	
<b>NOTA P.B.:</b>			

PESO DE TESTIGO (g):	161,19
TARA (g):	116,57
TARA+SUELO+AGUA (g):	264,74
TARA+SUELO SECO (g):	235,97
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	24,10

[illegible]

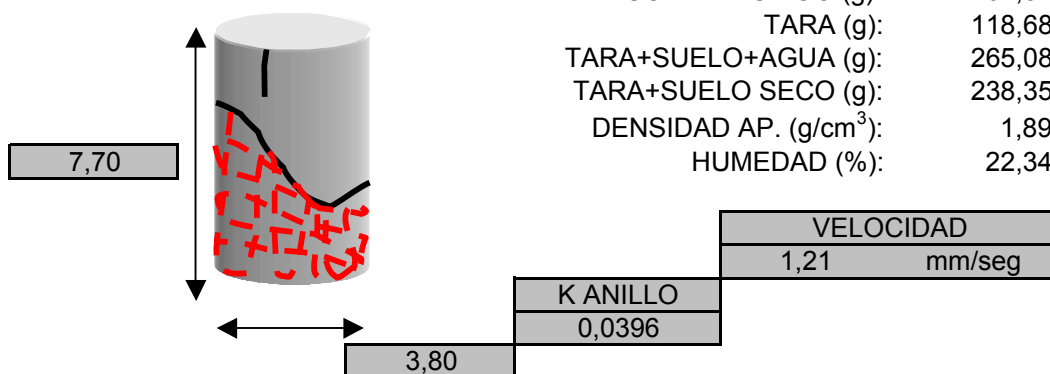
$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,31
% DEF	9.05



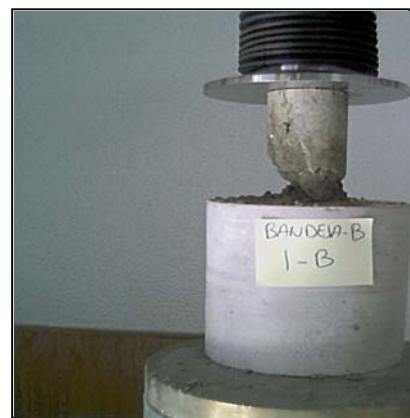
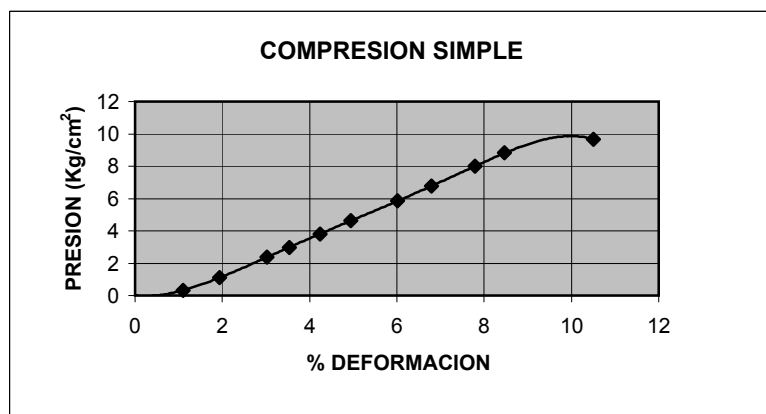
**OBSERVACIONES:** ESTUFA 50<sup>a</sup>

<b>REFERENCIA:</b>	232801	<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO CARBONATOS SUELO
<b>CALICATA:</b>	BANDEJA-B	<b>DESCRIPCIÓN:</b>	HECHOS EL DIA=31/01/04
			ROTURA A LOS 10 DIAS
<b>PROFUNDIDAD:</b>	BANDEJA-B-1B	<b>FECHA:</b>	23/01/2004
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA	<b>CLIENTE:</b>	
<b>NOTA P.B.:</b>			

PESO DE TESTIGO (g):	164,87
TARA (g):	118,68
TARA+SUELO+AGUA (g):	265,08
TARA+SUELO SECO (g):	238,35
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	22,34

[illegible]

$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,65
% DEF	10.51



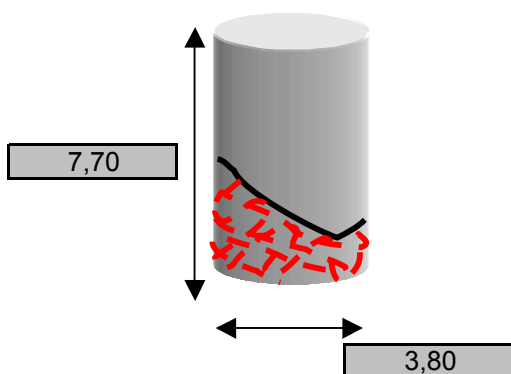
**OBSERVACIONES:** ESTUFA 50<sup>a</sup>

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-B  
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-B-2B  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO CARBONATOS SUELO
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	HECHOS EL DIA=31/01/04
	ROTURA A LOS 10 DIAS

**FECHA:** 23/01/2004  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	162,32
TARA (g):	118,86
TARA+SUELO+AGUA (g):	262,47
TARA+SUELO SECO (g):	235,08
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	23,57

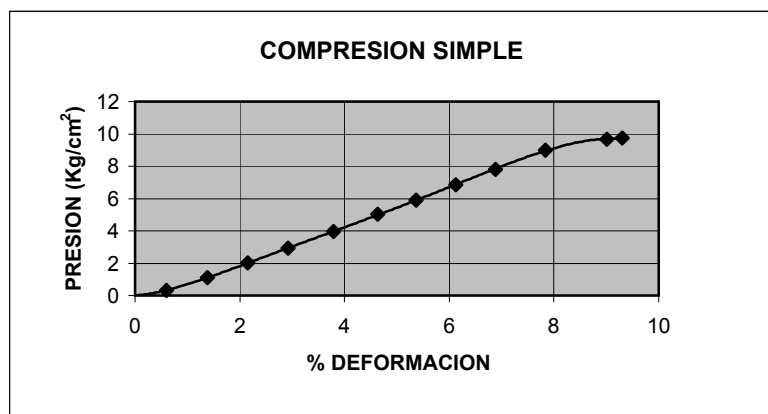


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,72
% DEF	9.3



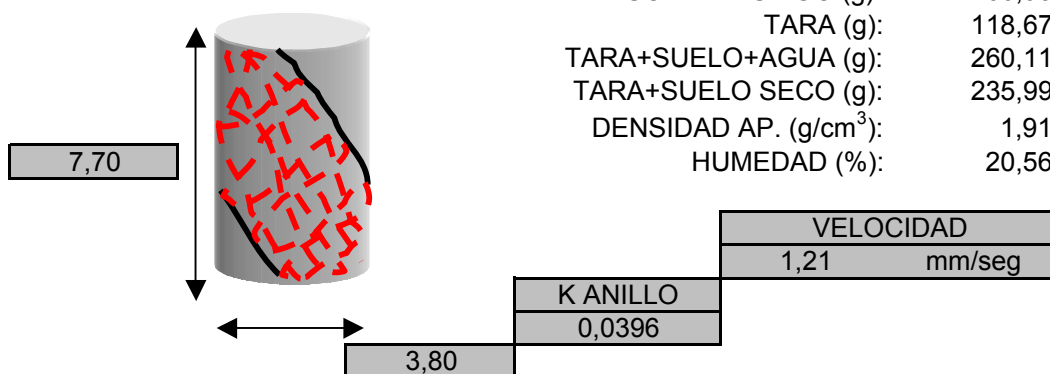
**OBSERVACIONES:** ESTUFA 50<sup>a</sup>

**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-C  
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-C-1B  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

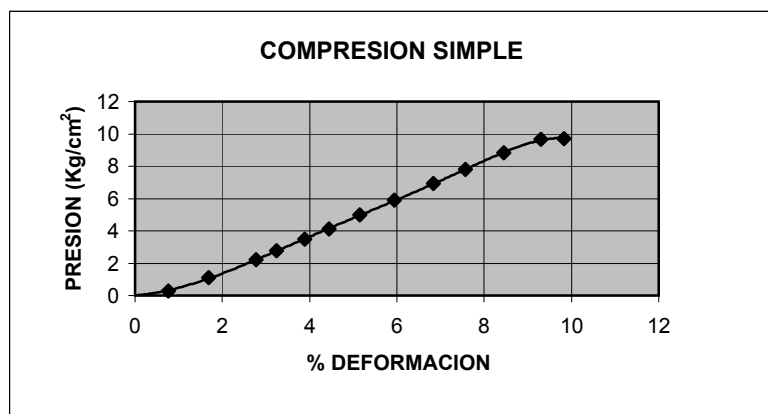
<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO CARBONATOS SUELO
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	HECHOS EL DIA=31/01/04
	ROTURA A LOS 10 DIAS

**FECHA:** 23/01/2004  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	166,93
TARA (g):	118,67
TARA+SUELO+AGUA (g):	260,11
TARA+SUELO SECO (g):	235,99
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	20,56

[illegible]

$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,70
% DEF	9.83



**OBSERVACIONES:** ESTUFA 50<sup>a</sup>

## **1.7 Compresión simple a los 30 días**

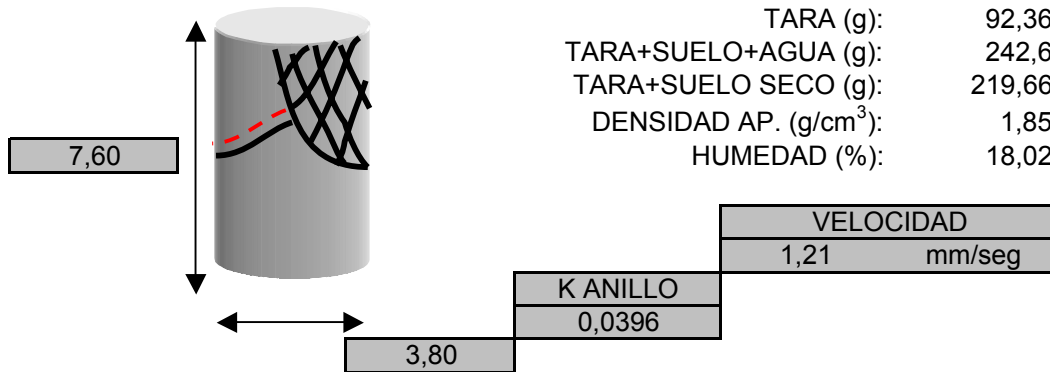
**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-A-1C  
**PROFUNDIDAD:**

**TIPO MUESTRA:** MEZCLA  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO CARBONATOS-SUELO  
**FECHA:** HECHOS EL 13/01/04  
 ROTO EL 12/02/04

**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

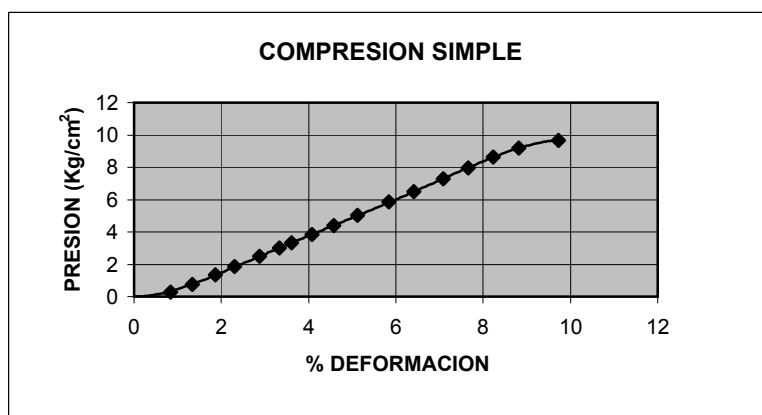
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g): 159,69  
 TARA (g): 92,36  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 242,6  
 TARA+SUELO SECO (g): 219,66  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,85  
 HUMEDAD (%): 18,02



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,27,37	0	170	63	0,30	0,83	
00,45,49	2	36	101	0,76	1,33	
01,03,02	3	172	142	1,35	1,87	
01,19,68	5	55	175	1,84	2,30	
01,42,04	7	20	218	2,48	2,87	
01,59,51	8	120	253	3,00	3,33	
02,09,29	9	95	274	3,31	3,61	
02,26,32	10	190	310	3,82	4,08	
02,46,53	12	120	348	4,40	4,58	
03,06,78	14	71	389	5,01	5,12	
03,36,28	16	156	444	5,86	5,84	
03,58,06	18	120	487	6,49	6,41	
04,24,11	20	170	538	7,28	7,08	
04,45,24	22	150	582	7,94	7,66	
05,06,95	24	145	626	8,63	8,24	
05,29,29	26	71	670	9,20	8,82	
06,00,29	27	145	739	9,68	9,72	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,68
% DEF	9,72



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DIAS

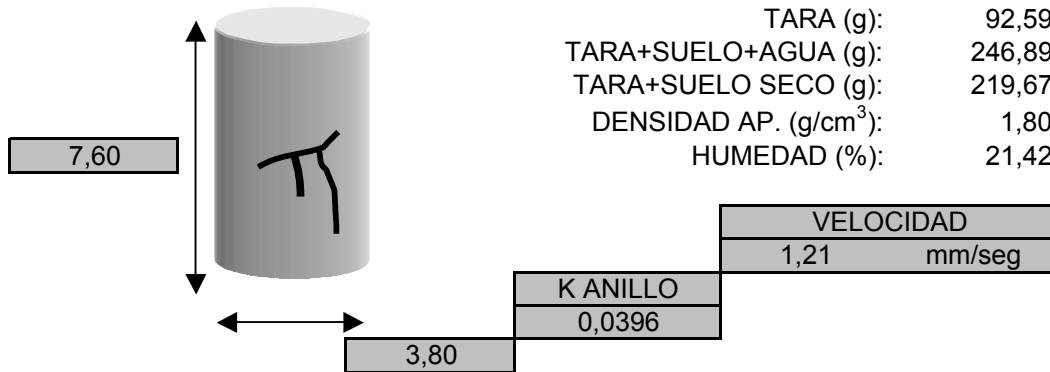
**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-A-2C  
**PROFUNDIDAD:**

**TIPO MUESTRA:** MEZCLA  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO CARBONATOS-SUELO  
**FECHA:** HECHOS EL 13/02/04  
 ROTO EL 12/02/04

**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

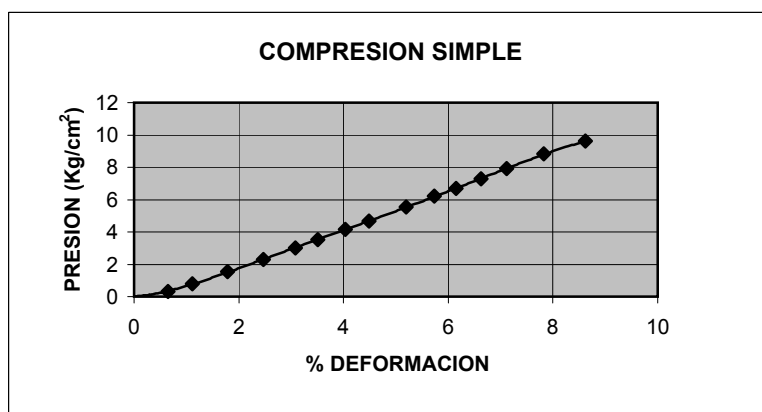
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g): 154,78  
 TARA (g): 92,59  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 246,89  
 TARA+SUELO SECO (g): 219,67  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,80  
 HUMEDAD (%): 21,42



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,22,07	0	180	49	0,31	0,64	
00,40,63	2	52	85	0,79	1,12	
01,05,41	4	75	136	1,53	1,79	
01,30,75	6	120	188	2,30	2,47	
01,55,01	8	130	234	3,02	3,08	
02,14,06	10	30	267	3,54	3,51	
02,33,81	11	171	307	4,14	4,04	
02,50,91	13	87	341	4,69	4,49	
03,18,47	15	170	395	5,53	5,20	
03,39,03	17	152	436	6,20	5,74	
03,54,34	19	30	467	6,69	6,14	
04,12,56	20	180	504	7,30	6,63	
04,32,93	22	133	541	7,91	7,12	
05,01,15	25	49	595	8,81	7,83	
05,30,51	27	104	655	9,61	8,62	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,61
% DEF	8,62



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DIAS



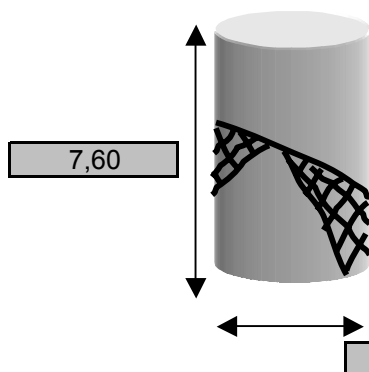
**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-B-1C  
**PROFUNDIDAD:**

**TIPO MUESTRA:** MEZCLA  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO CARBONATOS-SUELO  
**FECHA:** HECHOS EL 13/01/04  
 ROTO EL 12/02/04

**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g): 156,91  
 TARA (g): 91,82  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 237,35  
 TARA+SUELO SECO (g): 215,5  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,82  
 HUMEDAD (%): 17,67

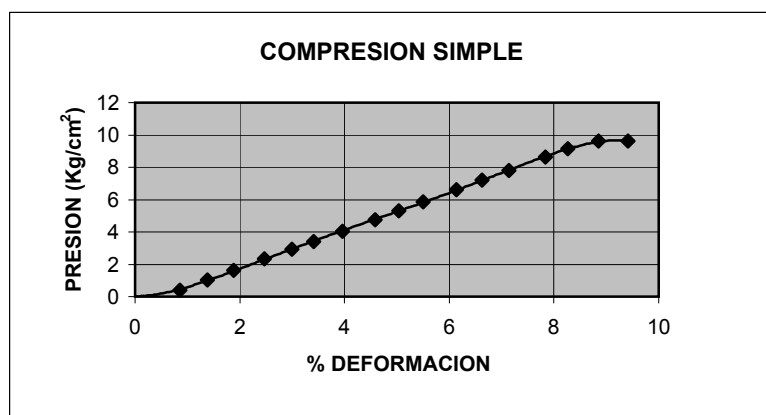


**VELOCIDAD**  
 1,21 mm/seg

**K ANILLO**  
 0,0396

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,29,87	1	30	65	0,40	0,86	
00,50,79	2	182	105	1,02	1,38	
01,10,76	4	130	143	1,62	1,88	
01,32,92	6	130	188	2,32	2,47	
01,50,40	8	82	228	2,94	3,00	
02,04,89	9	160	259	3,42	3,41	
02,27,11	11	120	301	4,05	3,96	
02,49,39	13	130	348	4,77	4,58	
03,06,71	15	42	383	5,31	5,04	
03,24,02	16	150	418	5,85	5,50	
03,49,58	18	181	466	6,60	6,13	
04,08,62	20	120	504	7,19	6,63	
04,28,06	22	70	543	7,80	7,14	
04,54,52	24	152	596	8,65	7,84	
05,09,73	26	40	628	9,15	8,26	
05,33,54	27	110	673	9,62	8,86	
05,46,29	27	119	715	9,64	9,41	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,64
% DEF	9,41



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DIAS

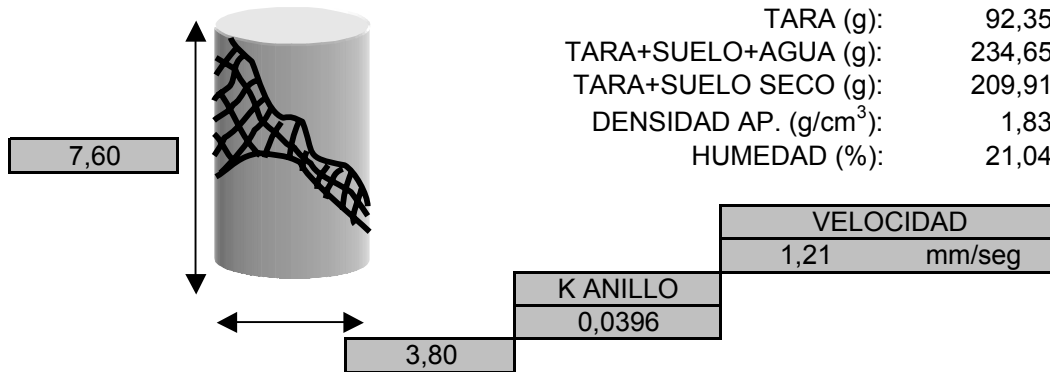
**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-B-2C  
**PROFUNDIDAD:**

**TIPO MUESTRA:** MEZCLA  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO CARBONATOS-SUELO  
**FECHA:** HECHOS EL 13/01/04  
 ROTO EL 12/02/04

**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

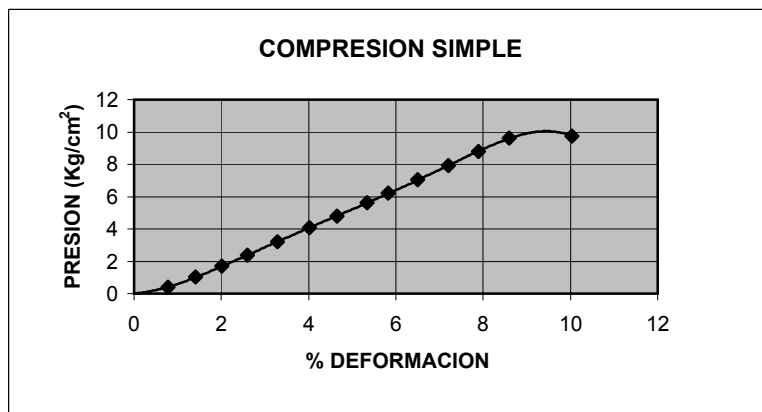
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g): 158,14  
 TARA (g): 92,35  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 234,65  
 TARA+SUELO SECO (g): 209,91  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,83  
 HUMEDAD (%): 21,04



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,24,91	1	22	59	0,39	0,78	
00,49,49	2	189	107	1,03	1,41	
01,11,12	4	170	153	1,69	2,01	
01,33,09	6	160	197	2,37	2,59	
01,59,68	9	43	250	3,22	3,29	
02,25,99	11	132	306	4,07	4,03	
02,42,83	13	141	353	4,79	4,64	
03,08,80	16	20	406	5,62	5,34	
03,27,37	17	162	443	6,22	5,83	
03,51,84	20	27	494	7,03	6,50	
04,18,50	22	130	547	7,91	7,20	
04,45,00	25	34	600	8,79	7,89	
05,10,82	27	105	653	9,61	8,59	
06,08,45	27	170	763	9,72	10,04	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,72
% DEF	10,04



**OBSERVACIONES:** ROTURA ALOS 30 DIAS

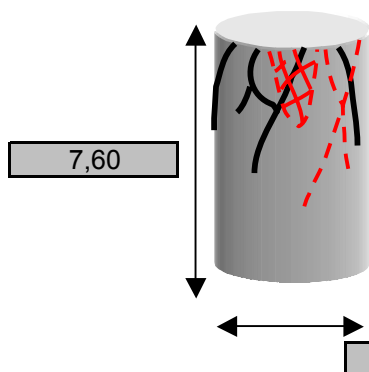
**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-C-1C  
**PROFUNDIDAD:**

**TIPO MUESTRA:** MEZCLA  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO CARBONATOS-SUELO  
**FECHA:** HECHOS EL 13/01/04  
 ROTO EL 12/02/04

**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**CLIENTE:**

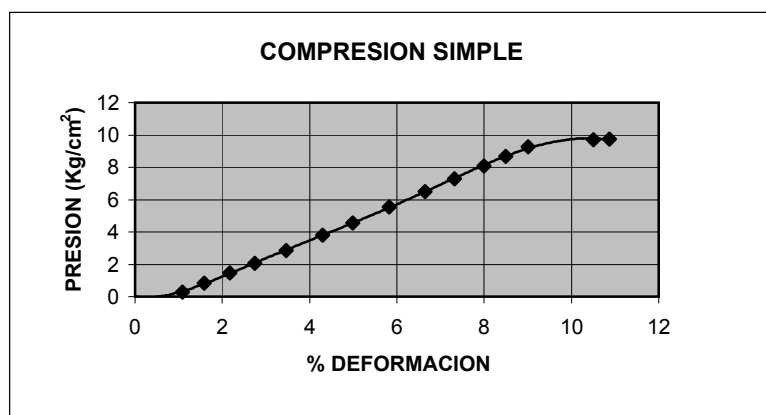
PESO DE TESTIGO (g): 158,47  
 TARA (g): 93,79  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 251,52  
 TARA+SUELO SECO (g): 229,15  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,84  
 HUMEDAD (%): 16,53



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg
K ANILLO	
0,0396	

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,42,72	0	170	82	0,30	1,08	
01,02,48	2	70	120	0,82	1,58	
01,24,45	4	30	165	1,45	2,17	
01,46,01	5	180	208	2,06	2,74	
02,13,35	8	38	263	2,86	3,46	
02,44,32	10	170	327	3,79	4,30	
03,10,04	13	20	379	4,57	4,99	
03,41,73	15	180	443	5,55	5,83	
04,12,32	18	117	505	6,49	6,64	
04,37,88	20	173	556	7,29	7,32	
05,03,72	23	30	608	8,08	8,00	
05,22,84	24	170	645	8,68	8,49	
05,41,56	26	105	685	9,26	9,01	
06,38,84	27	160	798	9,71	10,50	
06,56,76	27	178	826	9,74	10,87	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,74
% DEF	10,87



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DIAS

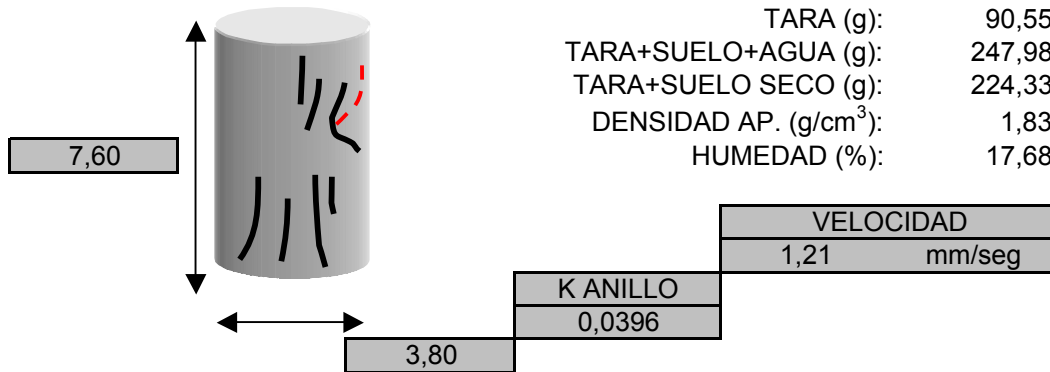
**REFERENCIA:** 232801  
**CALICATA:** BANDEJA-C-2C  
**PROFUNDIDAD:**

**TIPO MUESTRA:** MEZCLA  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO CARBONATOS-SUELO  
**FECHA:** HECHOS EL 13/01/04  
 ROTO EL 12/02/04

**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

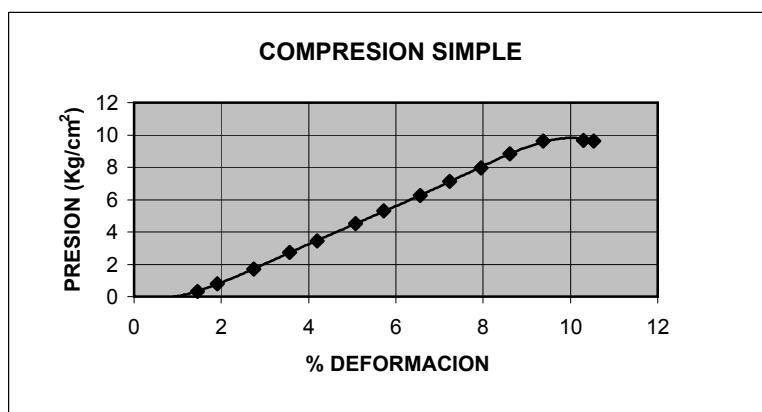
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g): 157,72  
 TARA (g): 90,55  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 247,98  
 TARA+SUELO SECO (g): 224,33  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,83  
 HUMEDAD (%): 17,68



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,51,44	0	183	110	0,32	1,45	
01,08,75	2	50	145	0,79	1,91	
01,39,22	4	183	208	1,72	2,74	
02,12,09	7	155	271	2,71	3,57	
02,36,09	9	183	319	3,46	4,20	
03,09,15	12	180	386	4,50	5,08	
03,33,94	15	30	435	5,29	5,72	
04,04,69	17	192	498	6,27	6,55	
04,31,28	20	80	550	7,12	7,24	
04,57,90	22	170	604	7,98	7,95	
05,23,81	25	50	655	8,82	8,62	
05,53,06	27	115	712	9,63	9,37	
06,28,06	27	131	783	9,66	10,30	R
06,35,12	27	122	801	9,64	10,54	

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,66
% DEF	10,3



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DIAS

## **2. COMPORTAMIENTO CAL**

## **2.1 Ensayos de identificación**

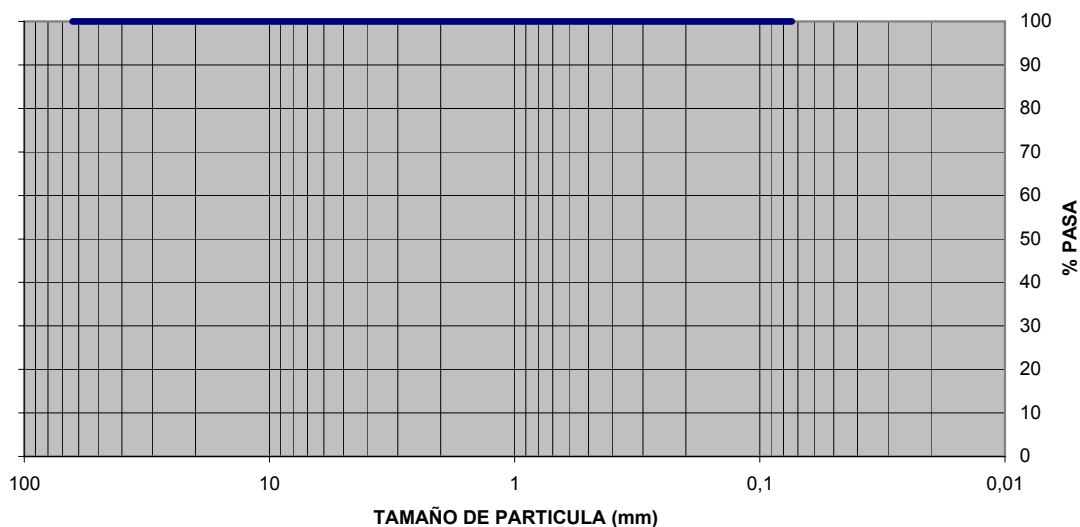


OBRA:  
CLIENTE:

PUENTE GENIL

CODIGO: 211601  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
TIPO DE MUESTRA:  
DESCRIPCION:

## ANÁLISIS GRANULOMETRICO



Tamices	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	40	80	200
Apertura(mm)	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,52	6,35	4,75	2	0,42	0,177	0,074
% que pasa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Tamaños partículas	GRUESAS				FINAS				GRUESA	MEDIA	FINA		
	GRAVAS								ARENAS				

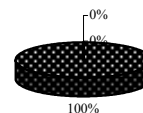
## LIMITES DE ATTERBERG NLT 105-106

Límite líquido (WL)..... 69,37 %  
Límite plástico (WP)..... 39,81 %  
Ind. Plasticidad (IP)..... 29,57

## COMPOSICION GRANULOMETRICA

% Grava..... 0  
% Arena..... 0  
% Finos..... 100

## Porcentajes



## COMPONENTES SECUNDARIOS

Sulfatos, % SO4.....  
Carbonatos, % CO3Ca.....  
Materia Organica %.....

## CONDICIONES DE ESTADO

Densidad aparente..... Tn/m3  
Humedad natural..... %  
Densidad seca ..... Tn/m3

## CLASIFICACION

Casagrande.....  
PG-3.....

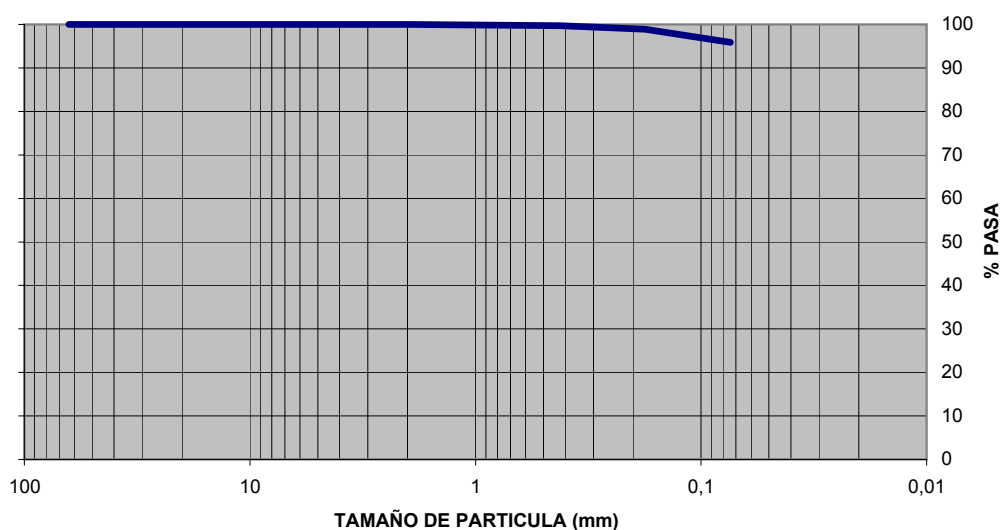


OBRA:  
CLIENTE:

PUENTE GENIL

CODIGO: 211602  
CALICATA: 0  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: 0  
DESCRIPCION: 0

## ANÁLISIS GRANULOMETRICO



Tamices	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	40	80	200
Apertura(mm)	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,52	6,35	4,75	2	0,42	0,177	0,074
% que pasa	100	100	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,7	98,91	95,9
Tamaños partículas	GRUESAS				FINAS				GRUESA	MEDIA	FINA		
	GRAVAS								ARENAS				

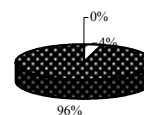
## LIMITES DE ATTERBERG NLT 105-106

Límite líquido (WL)..... 63,50 %  
Límite plástico (WP)..... 40,60 %  
Ind. Plasticidad (IP)..... 22,90

## COMPOSICION GRANULOMETRICA

% Grava..... 0  
% Arena..... 4,1  
% Finos..... 95,9

## Porcentajes



## COMPONENTES SECUNDARIOS

Sulfatos, % SO4.....  
Carbonatos, % CO3Ca.....  
Materia Organica %.....

## CONDICIONES DE ESTADO

Densidad aparente..... Tn/m3  
Humedad natural..... %  
Densidad seca ..... Tn/m3

## CLASIFICACION

Casagrande.....  
PG-3.....



## **2.2 Corte rápido 1 punto cal**



REFERENCIA: 211601-AI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1											
TARA	T+S+A	T+S	SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD SECA	CARGA	CARG.FIJA
118,84	218,6	190,95	72,11	27,61	38,29%	144,93	60,4	84,53	1,44	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1133		1,25	0,00
		INUND.	1090		1,25	0,00
160	0,2		1028		1,25	1,53

\* TENSIONES EN Kp/cm<sup>2</sup>



REFERENCIA: 211601-BI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 30/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	70,21	27,79	39,58%	146,77	60,4	86,37	1,47	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1162		1,25	0,00
		INUND.	1119		1,25	0,00
128	0,4		1094		1,25	2,24



REFERENCIA: 211601-CI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 30/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	81,05	25,48	31,44%	160,32	60,4	99,92	1,70	20	4,5
118,45	225	199,5									

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	833		1,25	0,00
		INUND.	789		1,25	0,00
95	0,4		788		1,25	2,10



REFERENCIA: 211601-DI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 30/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	79,75	26,54	33,28%	162,25	60,39	101,86	1,73	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1171		1,25	0,00
		INUND.	1148		1,25	0,00
130	0,6		1148		1,25	3,09



REFERENCIA: 211601-EI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 30/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	75,18	26,79	35,63%	160,71	60,4	100,31	1,70	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1099		1,25	0,00
		INUND.	1070		1,25	0,00
45	0,8		1070		1,25	3,58



REFERENCIA: 211601-FI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 30/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
118,81	216,2	185,74	66,93	30,48	45,54%	156,24	60,4	95,84	1,63	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1235		1,25	0,00
		INUND.	1186		1,25	0,00
112	0,4		1186		1,25	2,17



REFERENCIA: 211602-AI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
118,18	212,5	185,22	67,04	27,3	40,72%	136,77	60,39	76,38	1,30	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	826		1,25	0,00
		INUND.	751		1,25	0,00
15	0,2		448		1,25	0,91





REFERENCIA: 211602-BI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	61,62	26,98	43,78%	139,83	60,4	79,43	1,35	20	4,5
116,82	205,4	178,44									

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1094		1,25	0,00
		INUND.	856		1,25	0,00
38	0,2		774		1,25	1,01



REFERENCIA: 211602-CI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	75,44	29,51	39,12%	152,67	60,4	92,27	1,57	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1141		1,25	0,00
		INUND.	1098		1,25	0,00
148	0,2		1029		1,25	1,47



REFERENCIA: 211602-DI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
112,73	218,4	188,47	75,74	29,97	39,57%	157,5	60,4	97,1	1,65	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1191		1,25	0,00
		INUND.	1147		1,25	0,00
152	0,2		1031		1,25	1,49



REFERENCIA: 211602-EI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	75,07	31,15	41,49%	156,15	60,4	95,75	1,63	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1266		1,25	0,00
		INUND.	1232		1,25	0,00
90	0,2		1144		1,25	1,23



REFERENCIA: 211602-FI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	72,1	29,43	40,82%	158,18	60,4	97,78	1,66	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1209		1,25	0,00
		INUND.	1168		1,25	0,00
80	0,2		1113		1,25	1,19



REFERENCIA: 211601-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 24/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1											
TARA	T+S+A	T+S	SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD SECA	CARGA	CARG.FIJA
116,62	215,9	186,57	69,95	29,3	41,89%	151,11	63,94	87,17	1,48	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
138	0,2				1,25	1,43



REFERENCIA: 211601-II  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 24/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
112,88	218,1	188,73	75,85	29,32	38,66%	162,25	63,94	98,31	1,67	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
120	0,2				1,25	1,36



REFERENCIA: 211601-III  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 25/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
116,91	223,1	195,81	78,9	27,25	34,54%	164,84	63,94	100,9	1,71	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
130	0,2				1,25	1,40





REFERENCIA: 211601-IV  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 25/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	79,27	30,09	37,96%	171,75	63,94	107,81	1,83	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
2	0,2				1,25	0,86



REFERENCIA: 211601-V  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
118,67	223,8	192,46	73,79	31,3	42,42%	166,68	63,94	102,74	1,74	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
84	0				1,25	0,36



REFERENCIA: 211601-VI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
112,98	206,9	174,7	61,72	32,17	52,12%	163,1	63,94	99,16	1,68	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
38	0				1,25	0,16



REFERENCIA: 211602-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	66,16	31,81	48,08%	149,87	63,93	85,94	1,46	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
15	0,2				1,25	0,91



REFERENCIA: 211602-II  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	56,98	29,08	51,04%	141,55	63,94	77,61	1,32	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
118	0				1,25	0,50



REFERENCIA: 211602-III  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	64,11	31,49	49,12%	153,85	63,93	89,92	1,53	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
4	0,2				1,25	0,86



REFERENCIA: 211602-IV  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	73,87	31,66	42,86%	166,03	63,94	102,09	1,73	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
65	0,2				1,25	1,12



REFERENCIA: 211602-V  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	73,08	32,91	45,03%	168,76	63,94	104,82	1,78	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
85	0,2				1,25	1,21





REFERENCIA: 211602-V  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	73,08	32,91	45,03%	168,76	63,94	104,82	1,78	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
85	0,2				1,25	1,21



REFERENCIA: 211602-VI  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
116,83	216,9	180,72	63,89	36,18	56,63%	163,2	63,94	99,26	1,69	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA			1,25	0,00
		INUND.			1,25	0,00
110	0				1,25	0,47



REFERENCIA: 211601-A-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 17/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	74,08	27,64	37,31%	147,92	60,3	87,62	1,49	20	4,5
116,83	218,6	190,91									

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1105		1,25	0,00
		INUND.	1040		1,25	0,00
53	0,2		820		1,25	1,07



REFERENCIA: 211601-B-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 17/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
116,92	220,6	189,66	72,74	30,94	42,54%	149,55	60,3	89,25	1,52	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1097		1,25	0,00
		INUND.	1057		1,25	0,00
65	0,2		939		1,25	1,12



REFERENCIA: 211601-C-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	74,56	30,09	40,36%	153,19	60,29	92,9	1,58	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1138		1,25	0,00
		INUND.	1095		1,25	0,00
4	0,2		953		1,25	0,86



REFERENCIA: 211601-D-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	76,76	30,27	39,43%	158,2	60,3	97,9	1,66	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1080		1,25	0,00
		INUND.	1032		1,25	0,00
61	0,2		910		1,25	1,11



REFERENCIA: 211601-E-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1												
TARA	T+S+A	T+S	SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA	
116,95	226,8	195,39	78,44	31,41	40,04%	160,29	60,29	100	1,70	20	4,5	

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1151		1,25	0,00
		INUND.	1113		1,25	0,00
74	0,2		984		1,25	1,16



REFERENCIA: 211601-F-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
118,56	223	190,22	71,66	32,76	45,72%	160,81	60,3	100,51	1,71	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	999		1,25	0,00
		INUND.	944		1,25	0,00
98	0,2		831		1,25	1,26





REFERENCIA: 211602-A-I

CALICATA:

PROFUNDIDAD:

OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:

DESCRIPCIÓN:

FECHA: 17/05/2006

CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	65,09	30,69	47,15%	148,97	60,3	88,67	1,51	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1067		1,25	0,00
		INUND.	974,5		1,25	0,00
8	0,2		755		1,25	0,88



REFERENCIA: 211602-B-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
118,17	216,5	183,97	65,8	32,5	49,39%	142,93	60,29	82,64	1,40	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	997,5		1,25	0,00
		INUND.	871		1,25	0,00
27	0,2		683		1,25	0,96



REFERENCIA: 211602-C-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1												
TARA	T+S+A	T+S	SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA	
118,86	218,9	185,65	66,79	33,2	49,71%	150,63	60,3	90,33	1,53	20	4,5	

ANILLO							
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.	
		CARGA	1102		1,25	0,00	
		INUND.	1004		1,25	0,00	
3	0,2		862		1,25	0,86	



REFERENCIA: 211602-D-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S									
116,57	218,7	185,85	69,28	32,8	47,34%	154,95	60,3	94,65	1,61	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1087		1,25	0,00
		INUND.	1014		1,25	0,00
20	0,2		898		1,25	0,93



REFERENCIA: 211602-D-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			TARA	T+S+A	T+S	SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
			116,57	218,7	185,85	69,28	32,8	47,34%	154,95	60,3	94,65	1,61	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1087		1,25	0,00
		INUND.	1014		1,25	0,00
20	0,2		898		1,25	0,93



REFERENCIA: 211602-E-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	69,13	31,45	45,49%	148,71	60,3	88,41	1,50	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1023		1,25	0,00
		INUND.	945		1,25	0,00
46	0,2		811		1,25	1,04



REFERENCIA: 211602-F-I  
CALICATA:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 18/05/2006  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	65,98	33,64	50,99%	155,09	60,29	94,8	1,61	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1076,5		1,25	0,00
		INUND.	1013,5		1,25	0,00
120	0,2		903		1,25	1,36

## **2.3 Presión de hinchamiento**





REFERENCIA: 211601-FI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 09/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	201,25	135,8	65,45

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,66	T+S+W	185,38	T+S	163,18
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,67			HUM.FINAL	49,87%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
09/10/2003	9h 00m	700	0	0,00	0,00%	INICIAL
	13h 10m	699,75	250	0,10	-0,01%	INUNDO
10/10/2003	8h 00m	701	0	0,00	0,05%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,10kp/cm2  
49,87%  
1,67 g/cm3



REFERENCIA: 211601-EI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 08/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	200,82	135,52	65,3

TARA	118,22	T+S+W	185,83	T+S	166,44
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,66			HUM.FINAL	40,21%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
08/10/2003	12h 5m	696	0	0,00	0,00%	INICIAL
		694	250	0,10	-0,10%	INUNDO
09/10/2003	8h 5m	693	0	0,00	-0,15%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO

0,10%

HUMEDAD FINAL

40,21%

DENSIDAD APARENTE

1,66 g/cm3



REFERENCIA: 211601-DI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 08/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	201,11	135,52	65,59

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,94	T+S+W	185,32	T+S	165,99
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,67			HUM.FINAL	39,41%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
08/10/2003	8h 20m	748	0	0,00	0,00%	INICIAL
	9h 25m	748	750	0,31	0,00%	INUNDO
08/10/2003	11h 43m	751	0	0,00	0,15%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*0,31kp/cm2*  
*39,41%*  
*1,67 g/cm3*



REFERENCIA: 211601-CI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 08/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	197,32	135,8	61,52

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	114,24	T+S+W	181,32	T+S	162,43
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,57			HUM.FINAL	39,20%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
08/10/2003	8h 30m	693	0	0,00	0,00%	INICIAL
	12h 45m	693	0	0,00	0,00%	INUNDO
08/10/2003	12h 45m	693	0	0,00	0,00%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,0kp/cm2  
39,20%  
1,57 g/cm3



REFERENCIA: 211601-BI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 07/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	194,81	135,52	59,29

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,36	T+S+W	184,17	T+S	164,36
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,51			HUM.FINAL	41,27%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
07/10/2003	8h 30m	638	0	0,00	0,00%	INICIAL
	11h 5m	638	250	0,10	0,00%	INUNDO
08/10/2003	8h 00m	743	0	0,00	5,25%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*0,10kp/cm2*  
*41,27%*  
*1,51 g/cm3*



REFERENCIA: 211601-AI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 07/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	193,07	135,8	57,27

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,86	T+S+W	186,4	T+S	166,73
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,46			HUM.FINAL	41,09%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
07/10/2003	8h 20m	678,25	0	0,00	0,00%	INICIAL
	11h 35m	678,25	500	0,20	0,00%	INUNDO
08/10/2003	8h 00m	685,25	0	0,00	0,35%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*0,20kp/cm2*  
*41,09%*  
*1,46 g/cm3*



REFERENCIA: 211602-AI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 02/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	186,12	135,53	50,59

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,37	T+S+W	180,11	T+S	159,45
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,29			HUM.FINAL	47,96%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
02/10/2003	8h 20m	575	0	0,00	0,00%	INICIAL
	12h 20m	575	1000	0,41	0,00%	INUNDO
03/10/2003	8h 8m	608	0	0,00	1,65%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,41kp/cm2  
47,96%  
1,29 g/cm3



REFERENCIA: 211602-BI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 02/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	197,38	135,8	61,58

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,86	T+S+W	179,41	T+S	158,01
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,57			HUM.FINAL	54,66%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
02/10/2003	8h 35m	627	0	0,00	0,00%	INICIAL
	13h 10m	625	250	0,10	-0,10%	INUNDO
02/10/2003	14h 00m	629	0	0,00	0,10%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO *0,10kp/cm2*  
HUMEDAD FINAL *54,66%*  
DENSIDAD APARENTE *1,57 g/cm3*

NOTA: CON 0 GR ,EL COMPARADOR SUBE A 629, CON 250GR BAJA A 625.





REFERENCIA: 211602-CI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 03/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	196,62	135,8	60,82

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,76	T+S+W	185,55	T+S	164,96
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,55			HUM.FINAL	42,72%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
03/10/2003	8h 22m	623	0	0,00	0,00%	INICIAL
	11h 40m	623	2500	1,02	0,00%	INUNDO
06/10/2003	8h 00m	659,75	0	0,00	1,84%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*1,02kp/cm2*  
*42,72%*  
*1,55 g/cm3*



REFERENCIA: 211602-DI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 03/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	197,77	135,52	62,25

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	112,89	T+S+W	181,34	T+S	160,69
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,59			HUM.FINAL	43,20%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
03/10/2003	8h 35m	650	0	0,00	0,00%	INICIAL
	11h 37m	650	1500	0,61	0,00%	INUNDO
06/10/2003	8h 00m	682,5	0	0,00	1,63%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*0,61kp/cm2*  
*43,20%*  
*1,59 g/cm3*



REFERENCIA: 211602-EI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 06/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	196,16	135,52	60,64

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,62	T+S+W	183,35	T+S	162,48
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,54			HUM.FINAL	45,51%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
06/10/2003	8h 20m	677	0	0,00	0,00%	INICIAL
	12h 35m	677	2250	0,92	0,00%	INUNDO
07/10/2003	8h 00m	714	0	0,00	1,85%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,92kp/cm2  
45,51%  
1,54 g/cm3



REFERENCIA: 211602-FI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 06/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	198,24	135,8	62,44

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,54	T+S+W	184,11	T+S	162,65
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,59			HUM.FINAL	48,65%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
06/10/2003	8h 30m	725	0	0,00	0,00%	INICIAL
	12h 35m	725	750	0,31	0,00%	INUNDO
07/10/2003	8h 00m	733	0	0,00	0,40%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*0,31kp/cm2*  
*48,65%*  
*1,59 g/cm3*



REFERENCIA: 211601-I  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 24/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	195,44	135,79	59,65

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	112,97	T+S+W	182,49	T+S	161,46
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,52			HUM.FINAL	43,37%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
24/09/2003	8h25m	653	0	0,00	0,00%	INICIAL
24/09/2003	10h00m	653	750	0,31	0,00%	INUNDO
	13h50m	758	0	0,00	5,25%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO

0,31kp/cm2

HUMEDAD FINAL

43,37%

DENSIDAD APARENTE

1,52 g/cm3



REFERENCIA: 211601-II  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 24/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	199,77	135,53	64,24

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,56	T+S+W	187,42	T+S	167,58
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,64			HUM.FINAL	38,89%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
24/09/2003	8h43m	706	0	0,00	0,00%	INICIAL
	10h00m	706	1500	0,61	0,00%	INUNDO
	13h45m	803	0	0,00	4,85%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,61kp/cm2  
38,89%  
1,64 g/cm3



REFERENCIA: 211601-III  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 25/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	204,8	135,52	69,28

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,61	T+S+W	189,99	T+S	169,27
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,77			HUM.FINAL	39,35%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
25/09/2003	8h25m	698	0	0,00	0,00%	INICIAL
	9h55m	698	1750	0,71	0,00%	INUNDO
	13h45m	791	0	0,00	4,65%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,71kp/cm2  
39,35%  
1,77 g/cm3



REFERENCIA: 211601-IV  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 25/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	209,21	135	74,21

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	117,87	T+S+W	192,99	T+S	172,37
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,89			HUM.FINAL	37,83%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
25/09/2003	8h35m	692	0	0,00	0,00%	INICIAL
	11h00m	692	500	0,20	0,00%	INUNDO
	14h00m	710	0	0,00	0,90%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO *0,20kp/cm2*  
HUMEDAD FINAL *37,83%*  
DENSIDAD APARENTE *1,89 g/cm3*

NOTA: CON 500 gr. BAJA A 690 , CON 250 gr. SUBE A 695





REFERENCIA: 211601-V  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	205,61	135,52	70,09

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,17	T+S+W	188,61	T+S	168
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,79			HUM.FINAL	41,36%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
26/09/2003	8h10m	622	0	0,00	0,00%	INICIAL
	11h15m	622	250	0,10	0,00%	INUNDO
	14h55m	659	0	0,00	1,85%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,10kp/cm2  
41,36%  
1,79 g/cm3



REFERENCIA: 211601-VI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 26/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	202,8	135,8	67

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,33	T+S+W	185,42	T+S	163,09
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,71			HUM.FINAL	49,89%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
26/09/2003	8h20m	676	0	0,00	0,00%	INICIAL
	9h30m	676	0	0,00	0,00%	INUNDO
	11h35m	686	0	0,00	0,50%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO *0,0kp/cm2*  
HUMEDAD FINAL *49,89%*  
DENSIDAD APARENTE *1,71 g/cm3*

NOTA: CON 250 gr. BAJA A 666 Y CON 0 gr. SUBE A 686



REFERENCIA: 211602-I  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	191,17	135,53	55,64

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,92	T+S+W	188,05	T+S	161,67
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,42			HUM.FINAL	58,95%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
29/09/2003	8h 10m	672	0	0,00	0,00%	INICIAL
	13h 20m	672	500	0,20	0,00%	INUNDO
30/09/2003	8h 00m	780	0	0,00	5,40%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,20kp/cm2  
58,95%  
1,42 g/cm3



REFERENCIA: 211602-II  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 29/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	196,56	135,8	60,76

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	117,87	T+S+W	190,61	T+S	165,01
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,55			HUM.FINAL	54,31%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
29/09/2003	8h 25m	636	0	0,00	0,00%	INICIAL
	9h 30m	636	1500	0,61	0,00%	INUNDO
30/09/2003	8h 00m	812,5	0	0,00	8,83%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*0,61kp/cm2*  
*54,31%*  
*1,55 g/cm3*



REFERENCIA: 211602-III  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 30/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	194,47	135,53	58,94

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	112,89	T+S+W	182,29	T+S	157,05
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,50			HUM.FINAL	57,16%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
30/09/2003	8h.20m.	615	0	0,00	0,00%	INICIAL
	9h.35m.	615	1000	0,41	0,00%	INUNDO
01/10/2003	8h.00m.	777	0	0,00	8,10%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,41kp/cm2  
57,16%  
1,50 g/cm3



REFERENCIA: 211602-IV  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 30/09/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	205,53	135,8	69,73

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,34	T+S+W	193,36	T+S	168,7
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,78			HUM.FINAL	48,97%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
30/09/2003	8h.25m.	685	0	0,00	0,00%	INICIAL
	12h.06m.	685	4000	1,63	0,00%	INUNDO
01/10/2003	8h.00m.	922	0	0,00	11,85%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*1,63kp/cm2*  
*48,97%*  
*1,78 g/cm3*



REFERENCIA: 211602-V  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 01/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	204,58	135,8	68,78

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,94	T+S+W	188,75	T+S	164,99
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,75			HUM.FINAL	49,45%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
01/10/2003	8h 15m	704	0	0,00	0,00%	INICIAL
	13h 05m	704	1750	0,71	0,00%	INUNDO
02/10/2003	8h 00m	827,5	0	0,00	6,18%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,0kp/cm2  
49,45%  
1,75 g/cm3



REFERENCIA: 211602-VI  
SONDEO:  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: PUENTE GENIL

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 01/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	202,79	135,53	67,26

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	114,25	T+S+W	182,16	T+S	157,67
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,71			HUM.FINAL	56,40%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
01/10/2003	8h 40m	681	0	0,00	0,00%	INICIAL
	13h 00m	681	750	0,31	0,00%	INUNDO
02/10/2003	8h 00m	748,5	0	0,00	3,38%	DESCARGA

PRESION DE HINCHAMIENTO *0,31kp/cm2*  
HUMEDAD FINAL *56,40%*  
DENSIDAD APARENTE *1,71 g/cm3*

NOTA: CON 750 GR QUEDA ESTABILIZADO EN 680, CON 500 QUEDA ESTABILIZADO EN 682,5



## **2.4 Carbonatos**

TRABAJO Nº: 04018

PETICIONARIO: Empresa: EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A.  
Domicilio: Pasaje de Bisbal, nº 6, 3º  
28028-(MADRID)  
At: D. Javier Castanedo

DENOMINACIÓN: Obra: BOBADILLA 2328.  
Situación: No la aporta el cliente

TIPO DE MUESTRA: SUELO

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: Fecha: 12/01/2004  
Entregada por el peticionario en el laboratorio de CEPASA

ENSAYOS SOLICITADOS :

Carbonatos (UNE 103200)

15/01/04

OBRA N°:04018

PETICIONARIO: EPSA

DENOMINACIÓN: BOBADILLA 2328

**DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE CARBONATOS**  
**(UNE 103200)**

MUESTRA	CO <sub>3</sub> Ca (%)
BANDEJA A	10,72
BANDEJA B	22,97
BANDEJA C	33,42

Este informe consta de tres páginas selladas y numeradas correlativamente de la una a la tres.

Fuenlabrada, 15 de Enero de 2.004

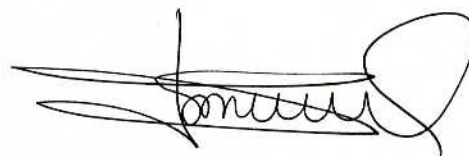
Por la sección de Mecánica de Suelos



Fdo: D. Fco. Cruz Valencia  
Director Gerente



Fdo: Dña. Mª Esther Garcés Cámara  
Director Técnico Laboratorio



Fdo: D. Ismael García Cotta  
Jefe de Área

**CEPASA ENSAYOS GEOTÉCNICOS, S.A.**

C/ Nicolás Copérnico nº 12 – Polígono Industrial Codein, Fuenlabrada

Área técnica de acreditación: SE Área de ensayos de laboratorio de mecánica del suelo

Acreditado por la **Comunidad de Madrid**, fecha de concesión 23/04/01 publicado en BOCM

Nº del Registro General de laboratorio acreditado: 03119SE01

Publicado en B.O.E. día 02/08/96

El presente informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio, y sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos en la primera página.

### **3. EFECTOS SULFATOS AGUA**

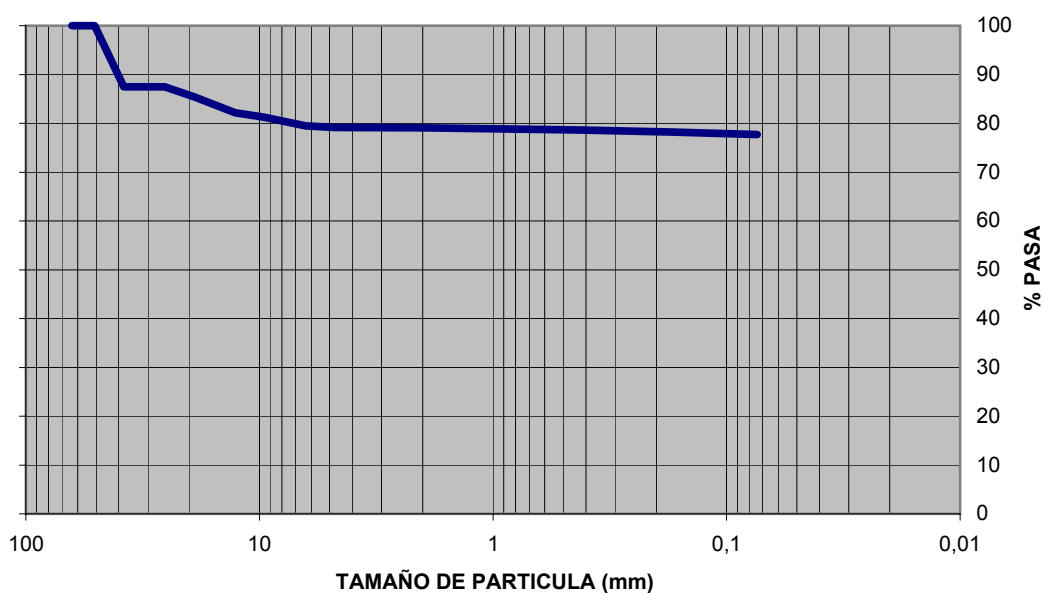
### **3.1 Ensayos de identificación**



OBRA: **BOBADILLA**  
CLIENTE: 0

CODIGO: 232102  
CALICATA: 0  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: MEZCLA  
DESCRIPCION: EFECTO SULFATOS

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO



Tamices	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	40	80	200
Apertura(mm)	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,52	6,35	4,75	2	0,42	0,177	0,074
% que pasa	100	100	87,475	87,47	85,42	82,18	81,26	79,46	79,15	79,08	78,614	78,213	77,7
Tamaños particulares	GRUESAS				FINAS				GRUESA	MEDIA	FINA		
	GRAVAS								ARENAS				

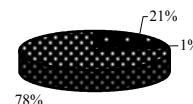
#### LIMITES DE ATTERBERG NLT 105-106

Límite líquido (WL)..... 60,11 %  
Límite plástico (WP)..... 38,03 %  
Ind. Plasticidad (IP)..... 22,08

#### COMPOSICION GRANULOMETRICA

% Grava..... 20,85  
% Arena..... 1,444  
% Finos..... 77,7

#### Porcentajes



#### COMPONENTES SECUNDARIOS

Sulfatos, % SO<sub>4</sub>.....  
Carbonatos, % CO<sub>3</sub>Ca.....  
Materia Organica %.....

#### CONDICIONES DE ESTADO

Densidad aparente..... Tn/m<sup>3</sup>  
Humedad natural..... %  
Densidad seca ..... Tn/m<sup>3</sup>

#### CLASIFICACION

Casagrande.....  
PG-3.....

## **3.2 Miniproctor**





REFERENCIA: 232102 TIPO MUESTRA: MEZCLA CODIGOS: 221737-38-39-40  
SONDEO: DESCRIPCIÓN: 41-42-43-44-45-46-47-48-49  
PROFUNDIDAD: FECHA: 22/10/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:  
EFECTO DE SULFATOS 5 CAPAS - MOLDE PEQUEÑO

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
200gr/40cm	1570,9	1719,7	116,66	265,15	241,25	124,59	148,49	19,18%	148,8	124,85	1,45
200gr/50cm	1570,9	1735,6	118,19	282,64	249,89	131,7	164,45	24,87%	164,7	131,90	1,53
200gr/60cm	1570,9	1737	118,66	284,43	246,72	128,06	165,77	29,45%	166,1	128,31	1,49
200gr/65cm	1570,9	1733	118,43	280,11	240,37	121,94	161,68	32,59%	162,1	122,26	1,42
200gr/70cm	1570,9	1729,2	116,76	274,58	233,25	116,49	157,82	35,48%	158,3	116,84	1,36
MUESTRA ANTES											

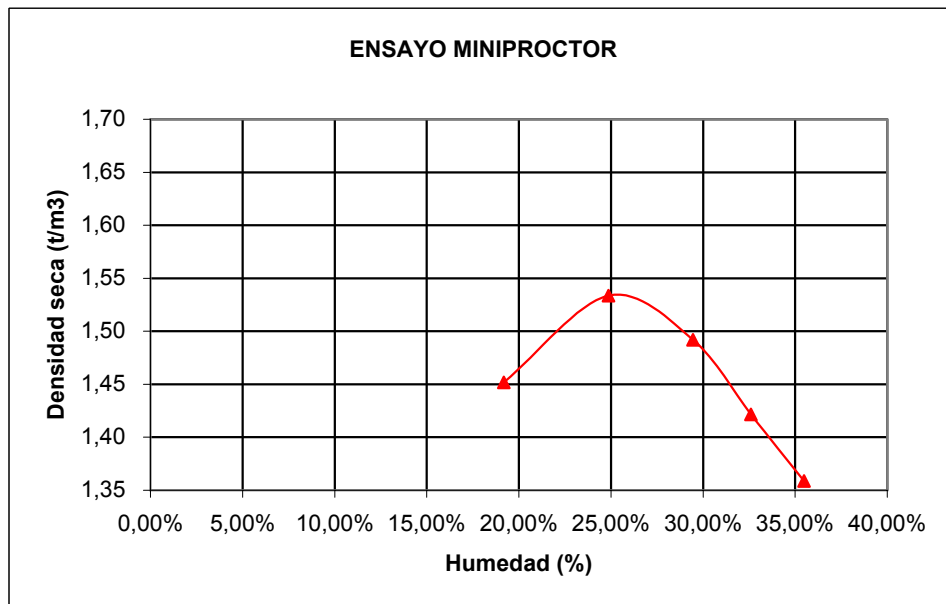
232102-I  
232102-II  
232102-III  
232102-IV  
232102-V

HUM. MUESTRA 0,00%  
HUM. PROCTOR 19,18%  
DIFERENCIA 19,18%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: 0  
MATERIAL: 221737-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 19,18% D. MAX 1,49 t/m3

### **3.3 Compactación probetas cal**



<b>REFERENCIA:</b>	232102	<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFFECTOS SULFATOS
<b>SONDEO:</b>	BANDEJA-1	<b>DESCRIPCIÓN:</b>	FAX MANDADO EL 21/10/03
<b>PROFUNDIDAD:</b>		<b>FECHA:</b>	04/11/2003
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA	<b>CLIENTE:</b>	

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDJ-1-1	1570,9	1735,6	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	164,7	131,25	1,53
BANDJ-1-2	1570,9	1736,2	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	165,3	131,72	1,53
BANDJ-1-3	1570,9	1735,7	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	164,8	131,33	1,53
BANDJ-1-4	1570,9	1735	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	164,1	130,77	1,52
BANDJ-1-5	1570,9	1735,4	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	164,5	131,09	1,52
BANDJ-1-6	1570,9	1735,9	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	165	131,48	1,53
BANDJ-1-7	1570,9	1735,8	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	164,9	131,40	1,53
BANDJ-1-8	1570,9	1735,7	0	1920	1530	1530	1920	25,49%	164,8	131,33	1,53
MUESTRA ANTES											



REFERENCIA: 232102 TIPO MUESTRA: EFECTOS SULFATOS  
SONDEO: BANDEJA-2 DESCRIPCIÓN: FAX MANDADO EL 21/10/03  
PROFUNDIDAD: FECHA: 04/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

1500 gr TERRENO - 405 cm<sup>3</sup> AGUA - 60 gr CAL

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDJ-2-1	1570,9	1733,2	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	162,3	128,85	1,50
BANDJ-2-2	1570,9	1734,8	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	163,9	130,12	1,51
BANDJ-2-3	1570,9	1734,4	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	163,5	129,80	1,51
BANDJ-2-4	1570,9	1733,2	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	162,3	128,85	1,50
BANDJ-2-5	1570,9	1734,4	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	163,5	129,80	1,51
BANDJ-2-6	1570,9	1735,2	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	164,3	130,44	1,52
BANDJ-2-7	1570,9	1734,5	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	163,6	129,88	1,51
BANDJ-2-8	1570,9	1733,6	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	162,7	129,17	1,50
MUESTRA ANTES											



REFERENCIA: 232102 TIPO MUESTRA: EFECTOS SULFATOS  
SONDEO: BANDEJA-3 DESCRIPCIÓN: FAX MANDADO EL 21/10/03  
PROFUNDIDAD: FECHA: 04/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

1500 gr TERRENO - 420 cm<sup>3</sup> AGUA - 90 gr CAL = 8 PROBETAS

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDJ-3-1	1570,9	1732,7	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	161,8	127,99	1,49
BANDJ-3-2	1570,9	1732,7	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	161,8	127,99	1,49
BANDJ-3-3	1570,9	1733,6	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	162,7	128,70	1,50
BANDJ-3-4	1570,9	1733	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	162,1	128,23	1,49
BANDJ-3-5	1570,9	1732,5	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	161,6	127,83	1,49
BANDJ-3-6	1570,9	1733	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	162,1	128,23	1,49
BANDJ-3-7	1570,9	1732,9	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	162	128,15	1,49
BANDJ-3-8	1570,9	1732,2	0	2010	1590	1590	2010	26,42%	161,3	127,60	1,48
MUESTRA ANTES											



REFERENCIA: 232102 TIPO MUESTRA: EFECTOS SULFATOS  
SONDEO: BANDEJA-4 DESCRIPCIÓN: FAX MANDADO EL 21/10/03  
PROFUNDIDAD: FECHA: 04/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

1500 gr TERRENO - 435 cm<sup>3</sup> AGUA - 120 gr CAL = 8 PROBETAS

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BAND-4-1	1570,9	1733,6	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	162,7	128,26	1,49
BAND-4-2	1570,9	1732,3	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	161,4	127,24	1,48
BANDJ-4-3	1570,9	1732,8	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	161,9	127,63	1,48
BANDJ-4-4	1570,9	1731,6	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	160,7	126,68	1,47
BANDJ-4-5	1570,9	1732,1	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	161,2	127,08	1,48
BANDJ-4-6	1570,9	1734,1	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	163,2	128,65	1,50
BANDJ-4-7	1570,9	1733,7	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	162,8	128,34	1,49
BANDJ-4-8	1570,9	1729,6	0	2055	1620	1620	2055	26,85%	158,7	125,11	1,45
MUESTRA ANTES											



REFERENCIA: 232102 TIPO MUESTRA: EFECTO SULFATOS  
SONDEO: BANDEJA-5 DESCRIPCIÓN: FAX MANDADO EL 21/10/03  
PROFUNDIDAD: FECHA: 05/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

1500 gr TERRENO - 185 cm<sup>3</sup> AGUA - 30 gr CAL. DESPUES DE MADURAR 7 DÍAS EN CÁMARA HÚMEDA AÑADIR 205 cm<sup>3</sup> A

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDJ-5-1	1570,8	1736,5	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	165,7	147,83	1,72
BANDJ-5-2	1570,8	1736,3	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	165,5	147,65	1,72
BANDJ-5-3	1570,8	1736,9	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	166,1	148,18	1,72
BANDJ-5-4	1570,8	1736,3	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	165,5	147,65	1,72
BANDJ-5-5	1570,8	1736,7	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	165,9	148,00	1,72
BANDJ-5-6	1570,8	1737,3	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	166,5	148,54	1,73
BANDJ-5-7	1570,8	1735,7	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	164,9	147,11	1,71
BANDJ-5-8	1570,8	1735,8	0	1715	1530	1530	1715	12,09%	165	147,20	1,71
MUESTRA ANTES											



REFERENCIA: 232102 TIPO MUESTRA: EFECTOS SULFATOS  
SONDEO: BANDEJA-6 DESCRIPCIÓN: FAX MANDADO EL 21/10/03  
PROFUNDIDAD: FECHA: 05/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

1500 gr TERRENO - 185 cm<sup>3</sup> AGUA - 60 gr CAL. DESPUES DE MADURAR EN CÁMARA HÚMEDA 7 DÍAS, AÑADIR 220 cm<sup>3</sup> A

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDJ-6-1	1570,8	1736,1	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	165,3	131,23	1,53
BANDJ-6-2	1570,8	1736,3	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	165,5	131,39	1,53
BANDJ-6-3	1570,8	1735,4	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	164,6	130,67	1,52
BANDJ-6-4	1570,8	1736,6	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	165,8	131,63	1,53
BANDJ-6-5	1570,8	1736,9	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	166,1	131,87	1,53
BANDJ-6-6	1570,8	1736	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	165,2	131,15	1,53
BANDJ-6-7	1570,8	1735,7	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	164,9	130,91	1,52
BANDJ-6-8	1570,8	1735,9	0	1965	1560	1560	1965	25,96%	165,1	131,07	1,52
MUESTRA ANTES											



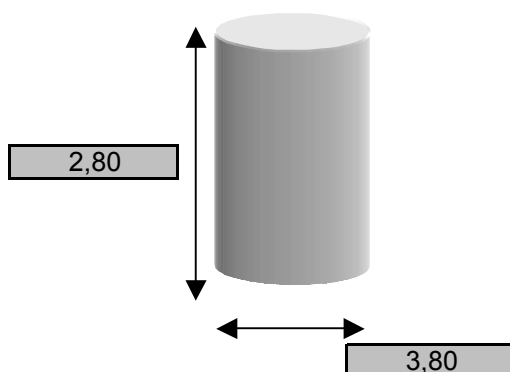
### **3.4 Compresión simple**

### **3.4.1 Maduración 7 días**

**REFERENCIA:** BANDEJA-5 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-5-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	M. MADURADO 1 SEMANA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b>	19/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	58,72
TARA (g):	90,63
TARA+SUELO+AGUA (g):	149,32
TARA+SUELO SECO (g):	134,66
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	33,30

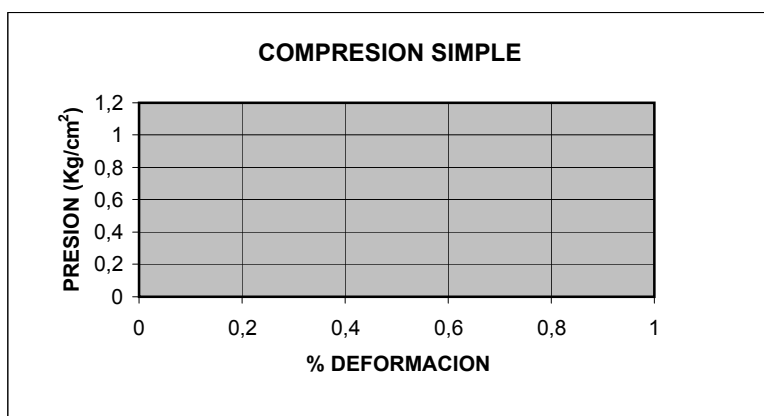


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,00
% DEF	

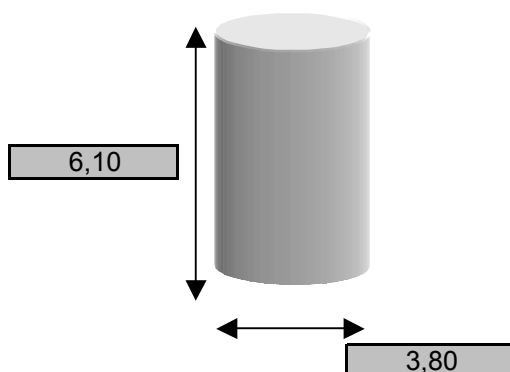


**OBSERVACIONES:** SE HA DESECHO EN EL AGUA.

**REFERENCIA:** BANDEJA-5 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-5-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	M. MADURANDO 7 DÍAS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b>	19/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	126,6
TARA (g):	92,04
TARA+SUELO+AGUA (g):	218,66
TARA+SUELO SECO (g):	187,87
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,83
HUMEDAD (%):	32,13

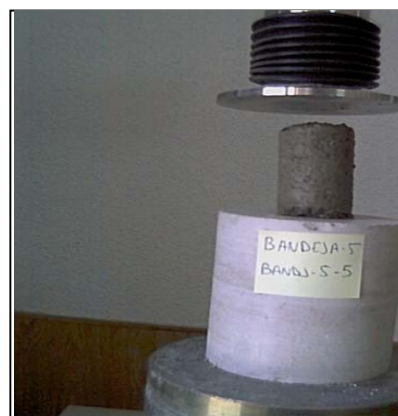
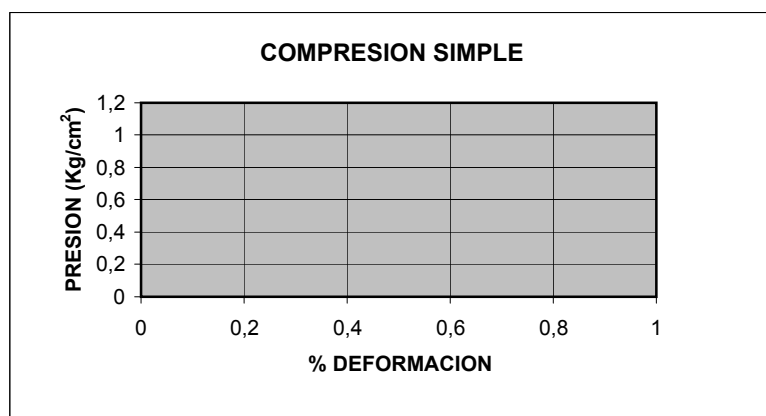


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,00
% DEF	

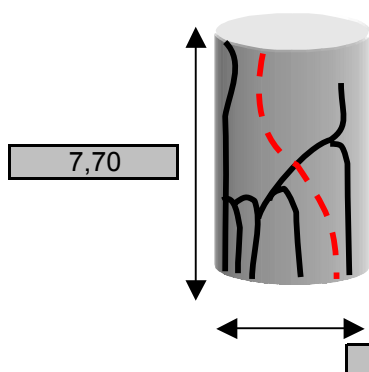


**OBSERVACIONES:** SE HA DESECHO EN EL AGUA.

**REFERENCIA:** BANDEJA-6 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-6-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	M. MADURANDO 7 DÍAS
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA DESTILADA
FECHA:	19/11/2003
CLIENTE:	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	168,35
TARA (g):	92,77
TARA+SUELO+AGUA (g):	260,71
TARA+SUELO SECO (g):	224,63
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,93
HUMEDAD (%):	27,36

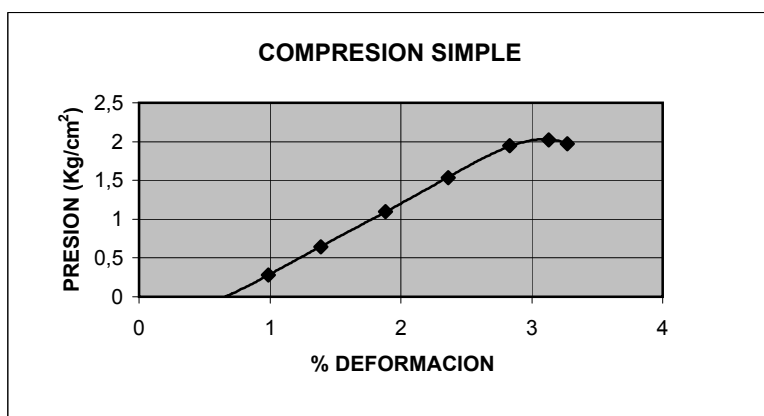


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

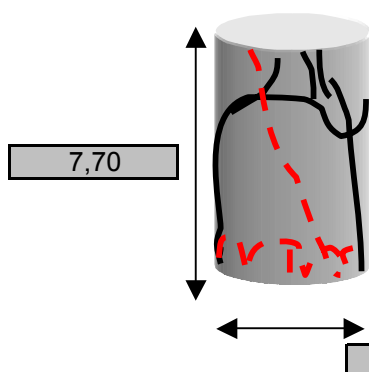
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,02
% DEF	3.13

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-6 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-6-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	M. MADURANDO 7 DÍAS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b> 19/11/2003	7 DÍAS
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	167,89
TARA (g):	92,79
TARA+SUELO+AGUA (g):	260,4
TARA+SUELO SECO (g):	224,83
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,92
HUMEDAD (%):	26,94

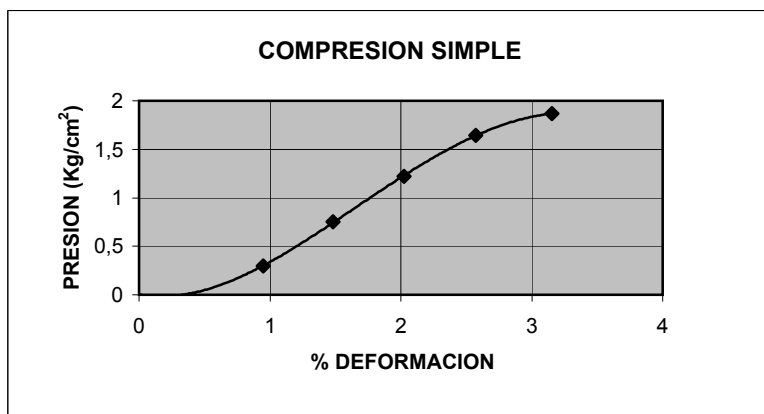


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

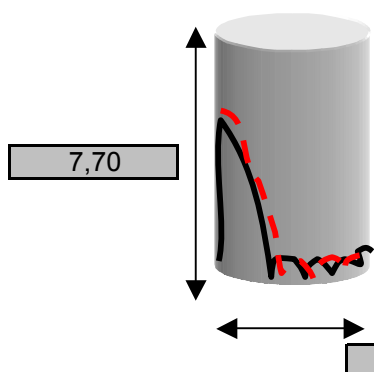
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,87
% DEF	3.16

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-7 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-7-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	M. MADURANDO 7 DÍAS
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA DESTILADA
FECHA:	19/11/2003
CLIENTE:	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	167,26
TARA (g):	91,93
TARA+SUELO+AGUA (g):	258,81
TARA+SUELO SECO (g):	222,93
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,92
HUMEDAD (%):	27,39

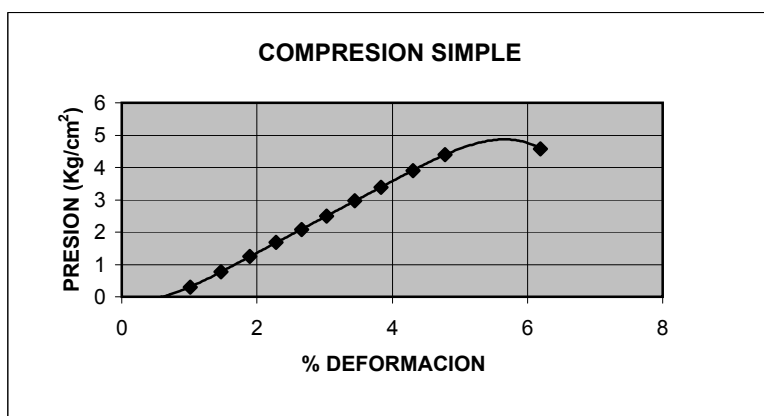


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

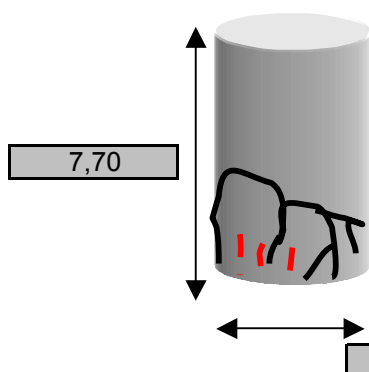
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,58
% DEF	6.19

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-7 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-7-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	MADURANDO 7 DÍAS
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA PREPARADA
FECHA:	19/11/2003
CLIENTE:	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	166,73
TARA (g):	91,91
TARA+SUELO+AGUA (g):	258,26
TARA+SUELO SECO (g):	222,72
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	27,17

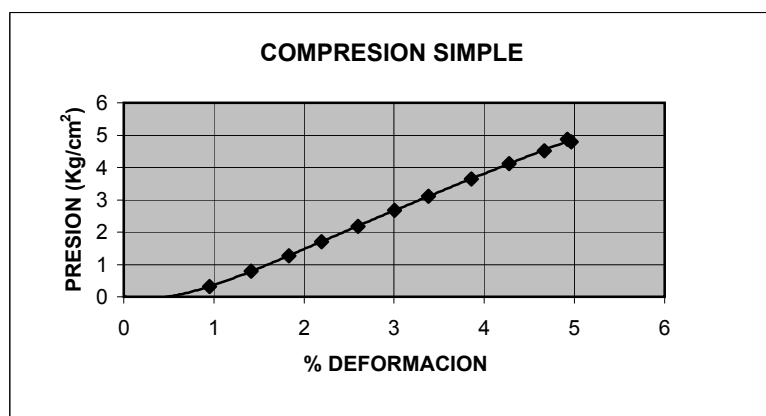


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

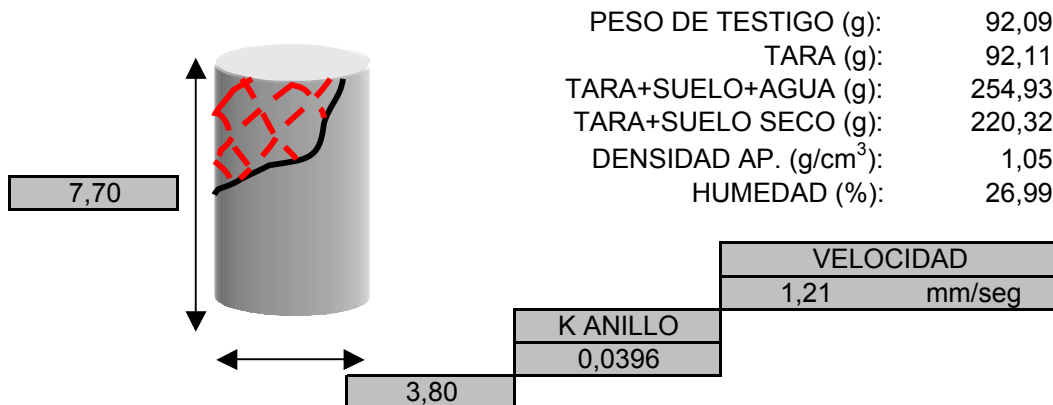
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,87
% DEF	4.92

**OBSERVACIONES:**



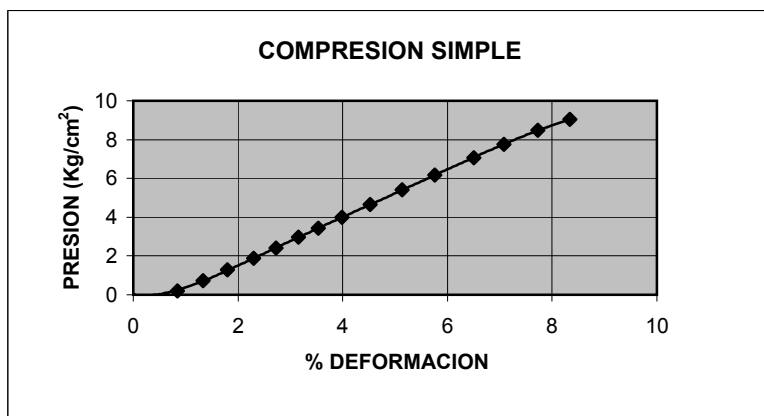
**REFERENCIA:** BANDEJA-8 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-8-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** M. MADURANDO 7 DÍAS  
**DESCRIPCIÓN:** METIDO EN AGUA DESTILADA  
**FECHA:** 19/11/2003 7 DÍAS  
**CLIENTE:**



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0		0	
0,28,81	0	120	65	0,21	0,84	
0,44,25	2	20	103	0,73	1,34	
1,02,28	3	130	138	1,27	1,79	
1,21,06	5	75	177	1,88	2,30	
1,36,27	6	180	210	2,41	2,73	
1,53,02	8	95	243	2,96	3,16	
2,08,02	9	160	272	3,42	3,53	
2,25,14	11	85	307	3,99	3,99	
2,45,61	13	65	348	4,65	4,52	
3,08,33	15	95	395	5,40	5,13	
3,32,14	17	135	443	6,17	5,75	
3,59,83	20	45	501	7,06	6,51	
4,20,17	22	38	545	7,75	7,08	
4,44,20	24	65	595	8,49	7,73	
4,51,83	25	180	642	9,04	8,34	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,04
% DEF	8,34

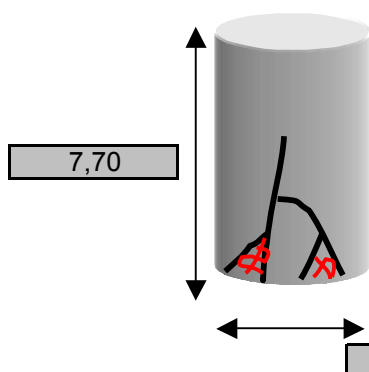


**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-8 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-8-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	M. MADURANDO 7 DÍAS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b>	19/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	166,55
TARA (g):	91,84
TARA+SUELO+AGUA (g):	258,08
TARA+SUELO SECO (g):	
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	222,69

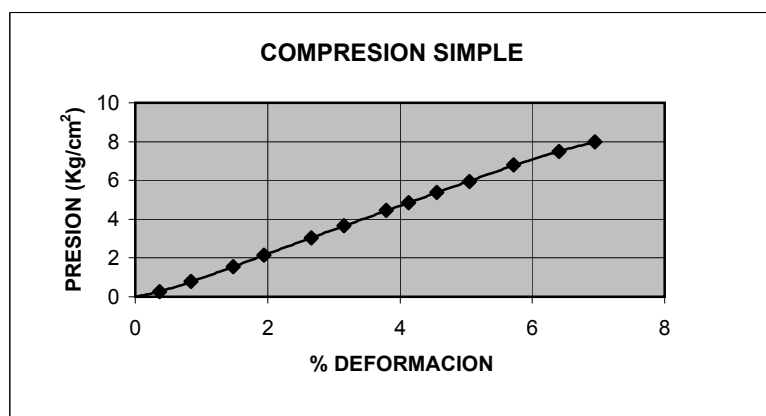


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	7,98
<b>% DEF</b>	6,95

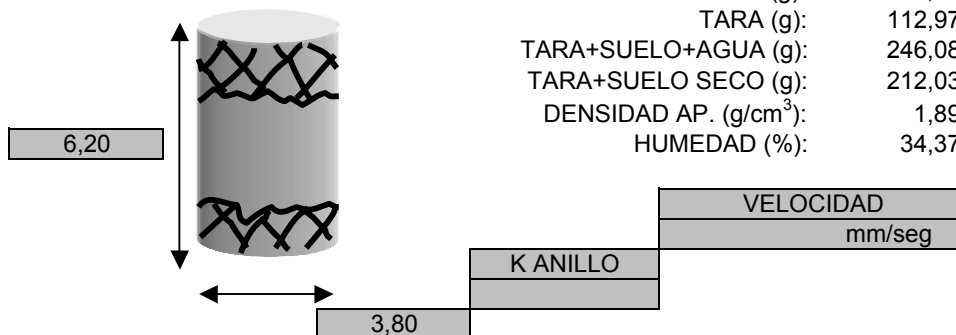
**OBSERVACIONES:**

### **3.4.2 Maduración 30 días**

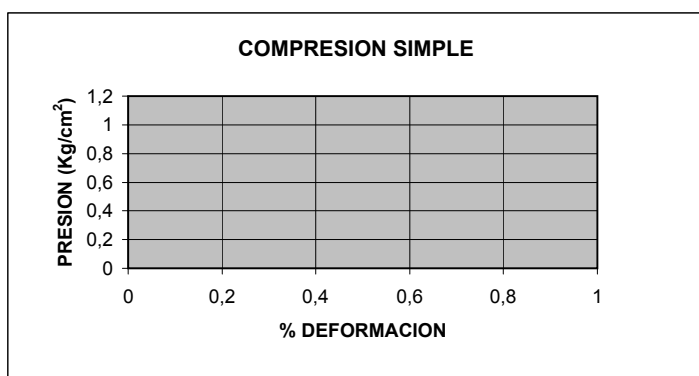
**REFERENCIA:** BANDEJA-5  
**CALICATA:** BANDEJA-5-2  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA MADURANDO 1 SEMANA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b>	12/12/2003
<b>CLIENTE:</b>	30 DIAS
	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	133,14
TARA (g):	112,97
TARA+SUELO+AGUA (g):	246,08
TARA+SUELO SECO (g):	212,03
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	34,37

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,00
<b>% DEF</b>	

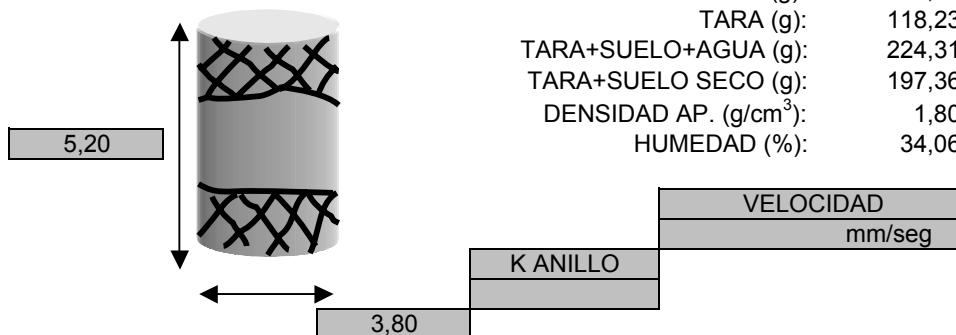


**OBSERVACIONES:** SE HA DESECHO PARTE DEL TESTIGO METIDO EN EL AGUA

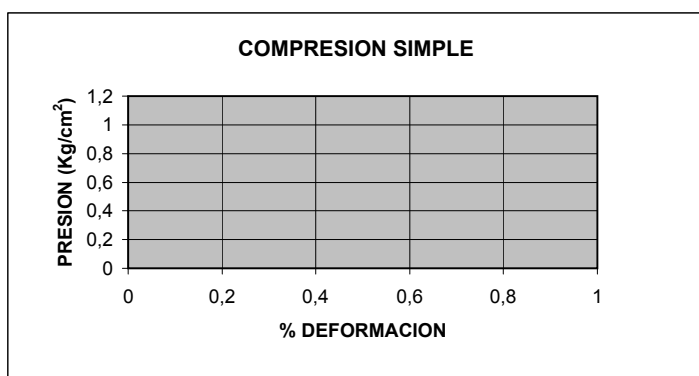
**REFERENCIA:** BANDEJA-5  
**CALICATA:** BANDEJA-5-6  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA MADURANDO 1 SEMANA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b>	12/12/2003
<b>CLIENTE:</b>	1 SEMANA
	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	106,08
TARA (g):	118,23
TARA+SUELO+AGUA (g):	224,31
TARA+SUELO SECO (g):	197,36
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,80
HUMEDAD (%):	34,06

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,00
<b>% DEF</b>	

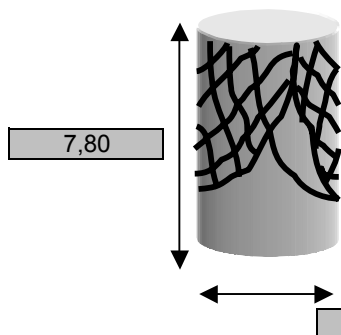


**OBSERVACIONES:** SE HA DESECHO PARTE DEL TESTIGO METIDO EN EL AGUA.

<b>REFERENCIA:</b>	BANDEJA-6
<b>CALICATA:</b>	BANDEJA-6-2
<b>PROFUNDIDAD:</b>	EFECTO SULFATOS
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA 232102
<b>NOTA P.B.:</b>	

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA MADURANDO 1 SEMANA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b>	12/12/2003
<b>CLIENTE:</b>	30 DIAS
	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	169,27
TARA (g):	117,88
TARA+SUELO+AGUA (g):	286,22
TARA+SUELO SECO (g):	249,77
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	27,64

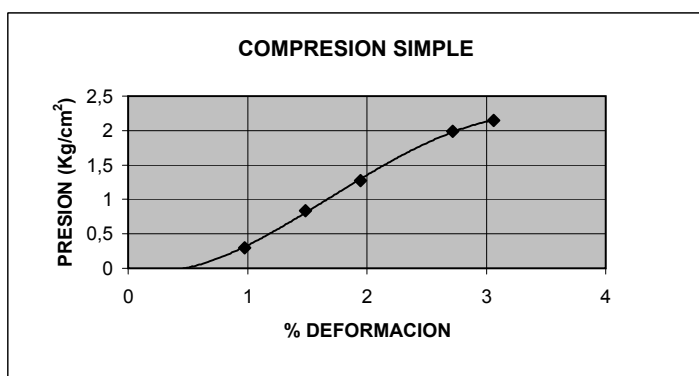


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0.0396

[illegible]

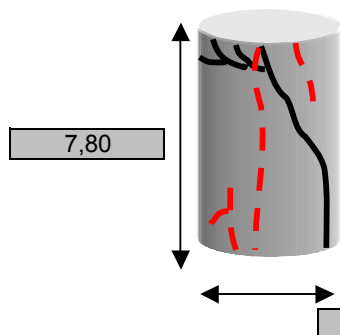
$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,15
% DEF	3 06

**OBSERVACIONES:**

<b>REFERENCIA:</b>	BANDEJA-6
<b>CALICATA:</b>	BANDEJA-6-6
<b>PROFUNDIDAD:</b>	EFECTO SULFATOS
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA 232102
<b>NOTA P.B.:</b>	

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA MADURANDO 1 SEMANA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b>	12/12/2003
<b>CLIENTE:</b>	30 DIAS
	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	168,65
TARA (g):	112,97
TARA+SUELO+AGUA (g):	281,31
TARA+SUELO SECO (g):	244,88
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	27,62

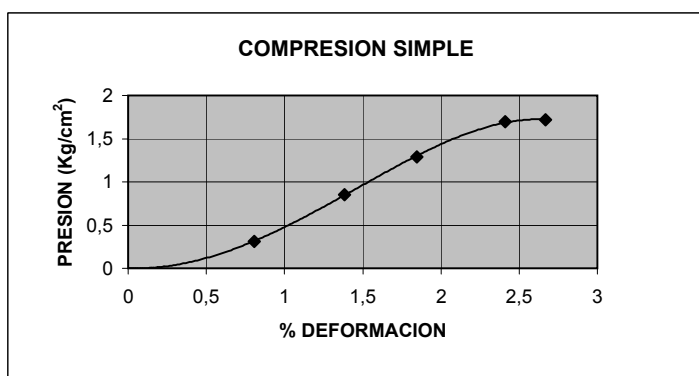


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0.0396

[illegible]

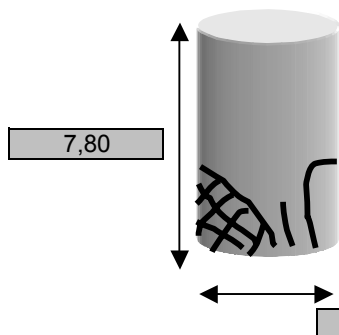
$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,72
% DEF	2 67

**OBSERVACIONES:**

<b>REFERENCIA:</b>	BANDEJA-7
<b>CALICATA:</b>	BANDEJA-7-2
<b>PROFUNDIDAD:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA 232102
<b>NOTA P.B.:</b>	

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA MADURANDO 1 SEMANA
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b>	12/12/2003
<b>CLIENTE:</b>	30 DIAS
	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	168,5
TARA (g):	118,55
TARA+SUELO+AGUA (g):	286,53
TARA+SUELO SECO (g):	250,06
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	27,73

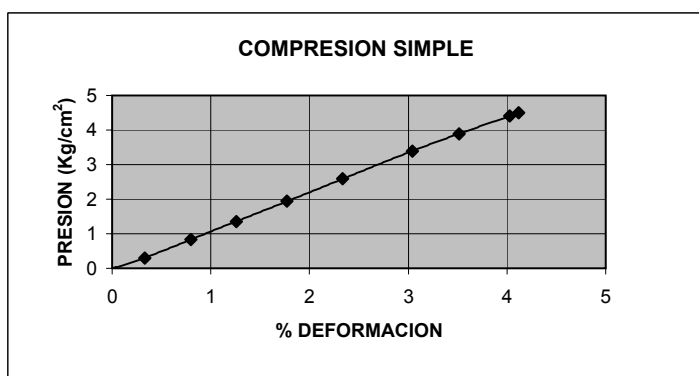


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0.0396

[illegible]

$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,51
% DEF	4 12

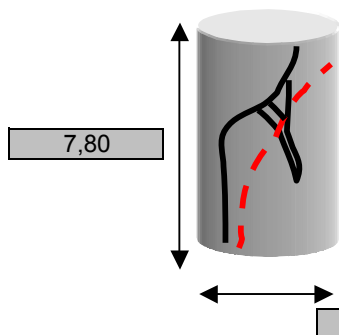
**OBSERVACIONES:**



<b>REFERENCIA:</b>	BANDEJA-7
<b>CALICATA:</b>	BANDEJA-7-6
<b>PROFUNDIDAD:</b>	EFECTO SULFATOS
<b>OBRA:</b>	BOBADILLA 232102
<b>NOTA P.B.:</b>	

TIPO MUESTRA:	MADURANDO 1 SEMANA
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA PREPARADA
FECHA:	12/12/2003
CLIENTE:	30 DIAS
	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	169,24
TARA (g):	118,84
TARA+SUELO+AGUA (g):	286,42
TARA+SUELO SECO (g):	249,57
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	28,19

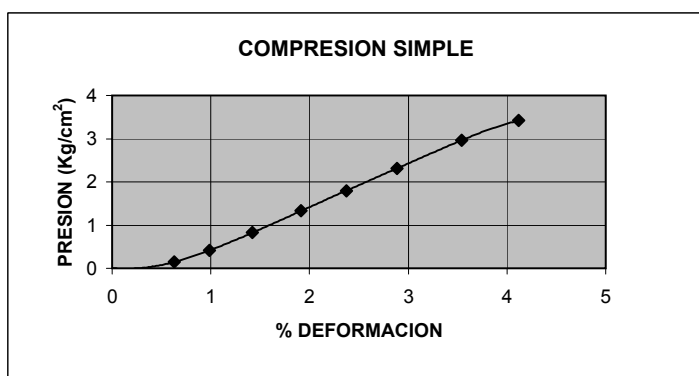


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

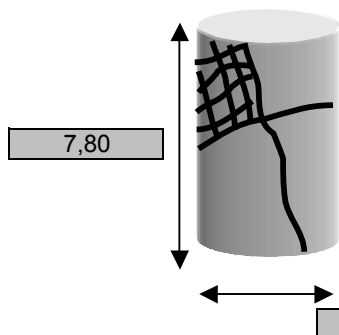
[illegible]

$Q_U$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	3,42
% DEF	4 12

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-8  
**CALICATA:** BANDEJA-8-2  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** MUESTRA MADURANDO 1 SEMANA  
**DESCRIPCIÓN:** METIDO EN AGUA DESTILADA  
**FECHA:** 12/11/2003  
**CLIENTE:** 30 DIAS  
**FAX DEL DIA=** 28/10/03

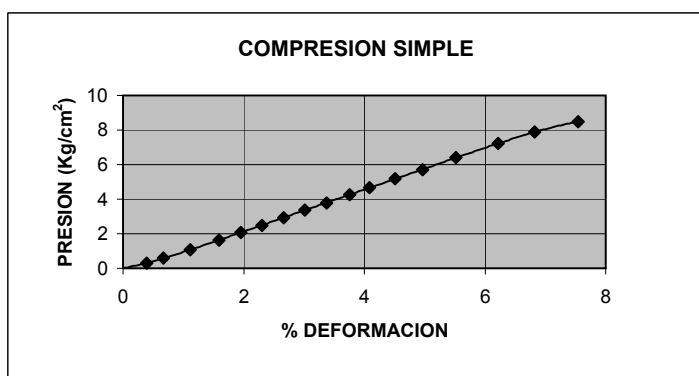


**PESO DE TESTIGO (g):** 167,67  
**TARA (g):** 118,64  
**TARA+SUELO+AGUA (g):** 261,99  
**TARA+SUELO SECO (g):** 231,02  
**DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>):** 1,90  
**HUMEDAD (%):** 27,56

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg
K ANILLO	
0,0396	

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,19,31	0	167	31	0,29	0,40	
00,29,37	1	140	52	0,59	0,67	
00,44,92	3	24	87	1,09	1,12	
01,03,02	4	140	124	1,64	1,59	
01,16,61	5	185	152	2,07	1,95	
01,39,99	7	30	180	2,50	2,31	
01,55,23	8	85	208	2,94	2,67	
02,08,16	9	120	235	3,35	3,01	
02,22,54	10	173	263	3,79	3,37	
02,37,26	12	45	293	4,27	3,76	
02,48,71	13	71	319	4,66	4,09	
03,04,83	14	170	352	5,19	4,51	
03,21,20	16	75	387	5,72	4,96	
03,43,42	18	60	430	6,39	5,51	
04,07,71	20	130	485	7,21	6,22	
04,29,05	22	120	532	7,89	6,82	
04,54,15	24	60	588	8,48	7,54	R

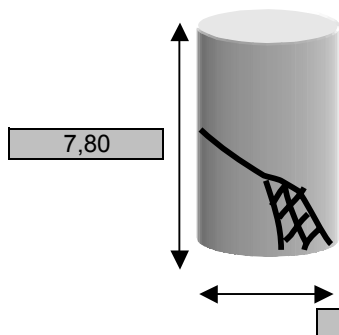
Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	8,48
% DEF	7,54



**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-8  
**CALICATA:** BANDEJA-8-6  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** MUESTRA MADURANDO 1 SEMANA  
**DESCRIPCIÓN:** METIDO EN AGUA PREPARADA  
**FECHA:** 12/12/2003  
**CLIENTE:** 30 DIAS  
 FAX DEL DIA= 28/10/03

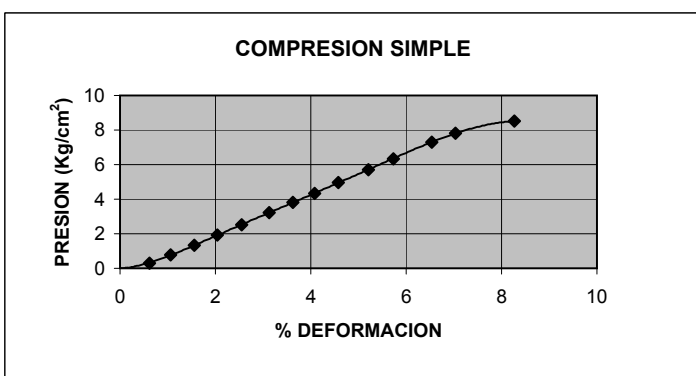


PESO DE TESTIGO (g): 167,66  
 TARA (g): 118,85  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 284,98  
 TARA+SUELO SECO (g): 249,1  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,90  
 HUMEDAD (%): 27,55

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg
K ANILLO	
0,0396	

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
00,24,72	0	162	48	0,28	0,62	
00,43,00	2	50	83	0,79	1,06	
01,01,69	3	170	121	1,34	1,55	
01,22,03	5	97	159	1,92	2,04	
01,41,22	7	35	199	2,51	2,55	
02,03,28	9	40	244	3,21	3,13	
02,22,31	10	182	283	3,81	3,63	
02,38,93	12	86	318	4,34	4,08	
02,58,77	14	45	357	4,97	4,58	
03,22,93	16	75	406	5,72	5,21	
03,43,05	18	36	447	6,35	5,73	
04,11,76	20	170	510	7,28	6,54	
04,29,13	22	85	549	7,83	7,04	
04,58,60	24	77	645	8,51	8,27	R

Q <sub>11</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	8,51
% DEF	8,27



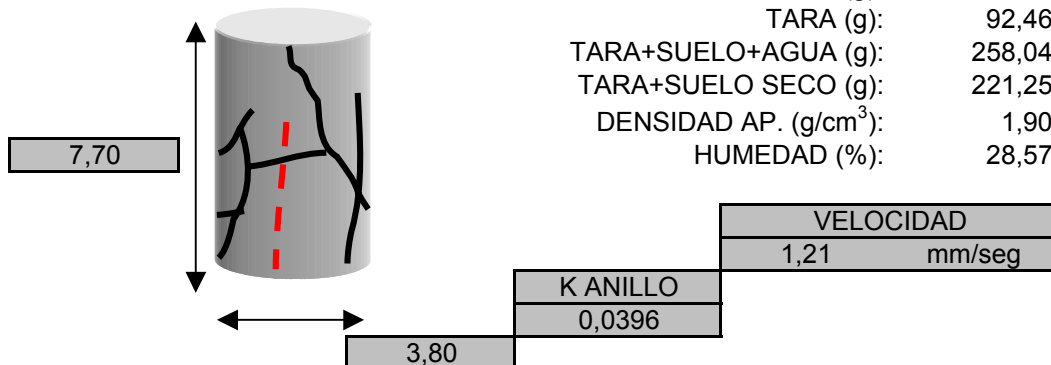
**OBSERVACIONES:**

### **3.4.3 Sin maduración 7 días**

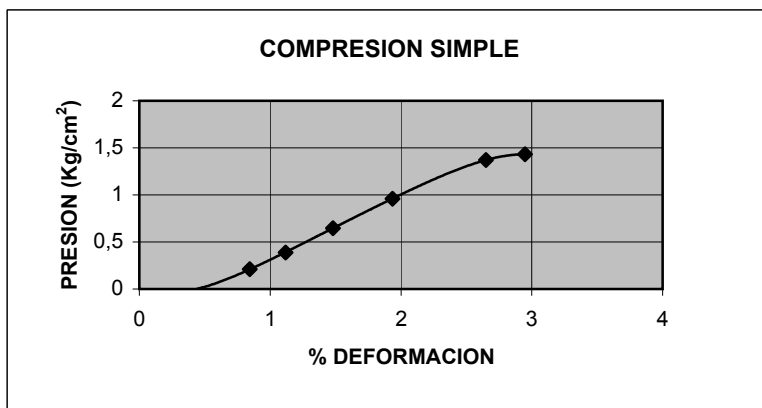
**REFERENCIA:** BANDEJA-1 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-1-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b>	18/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	7 DIAS

PESO DE TESTIGO (g):	166,14
TARA (g):	92,46
TARA+SUELO+AGUA (g):	258,04
TARA+SUELO SECO (g):	221,25
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	28,57

[illegible]

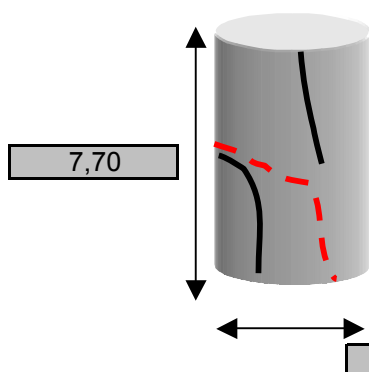
<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1,43
<b>% DEF</b>	2,95

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-1 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-1-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	SIN MADURAR
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA PREPARADA
FECHA:	18/11/2003
CLIENTE:	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	166,39
TARA (g):	92,3
TARA+SUELO+AGUA (g):	258,23
TARA+SUELO SECO (g):	221,89
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	28,04

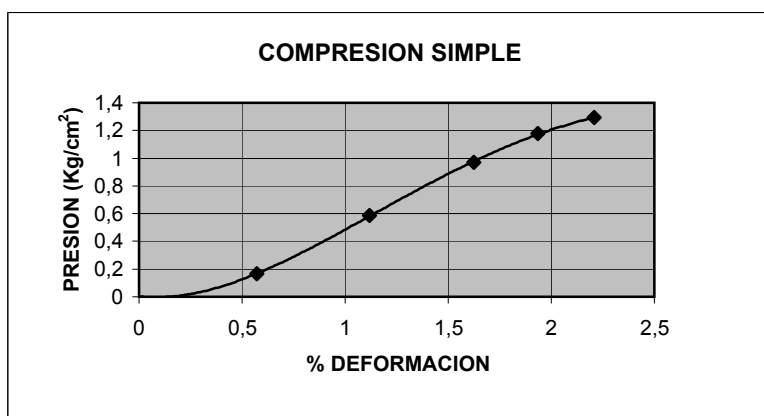


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

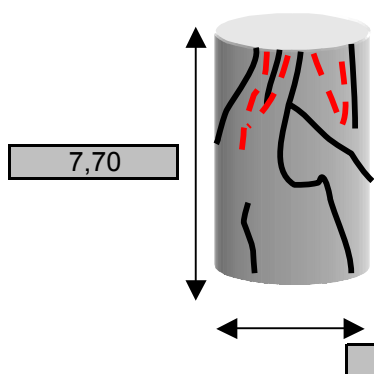
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,29
% DEF	2.21

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA -2 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-2-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b>	18/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	7 DIAS

PESO DE TESTIGO (g):	164,9
TARA (g):	92,43
TARA+SUELO+AGUA (g):	256,74
TARA+SUELO SECO (g):	219,57
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	29,24

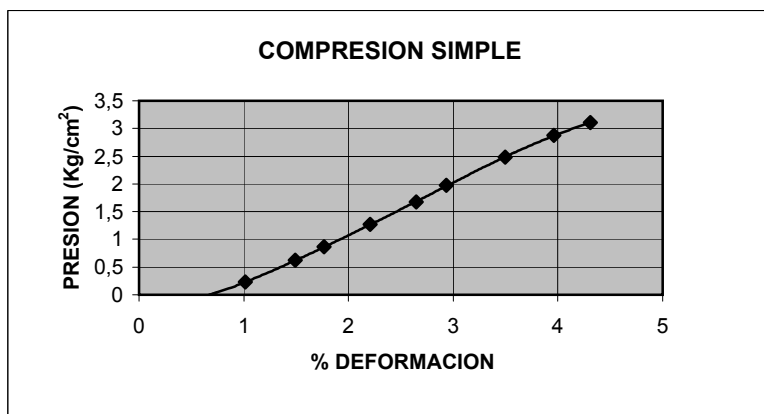


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

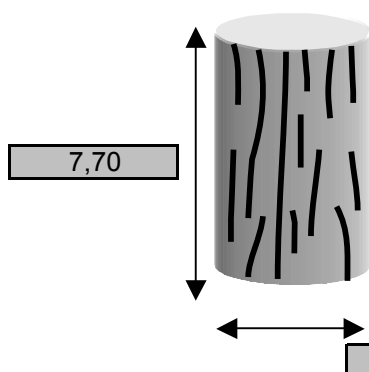
[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3,11
<b>% DEF</b>	4,31

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-2 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-2-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METRIDO EN AGUA PREPARADO
<b>FECHA:</b>	18/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	7 DÍAS



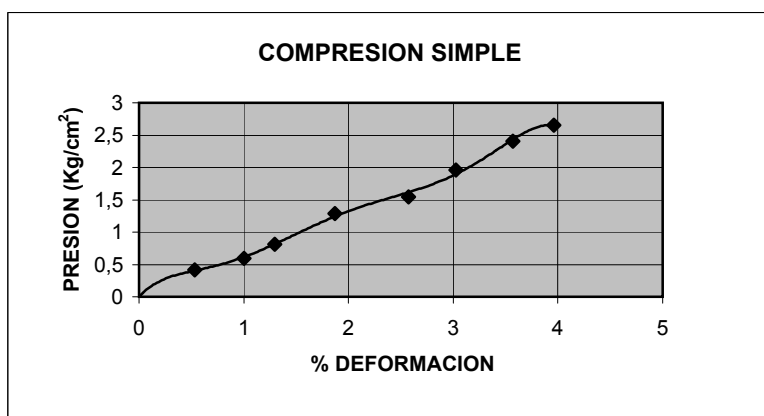
PESO DE TESTIGO (g):	166,07
TARA (g):	92,62
TARA+SUELO+AGUA (g):	255,15
TARA+SUELO SECO (g):	219,82
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	27,78

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,65
% DEF	3.96

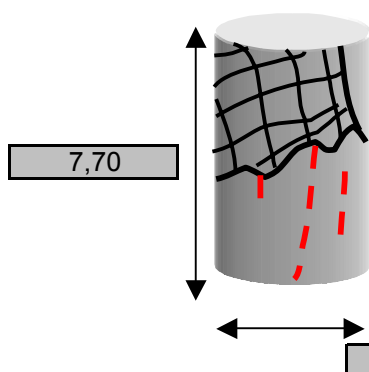
**OBSERVACIONES:**



**REFERENCIA:** BANDEJA-3 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-3-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b>	18/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	7 DÍAS

PESO DE TESTIGO (g):	164,28
TARA (g):	90,55
TARA+SUELO+AGUA (g):	251,36
TARA+SUELO SECO (g):	215,49
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,88
HUMEDAD (%):	28,71

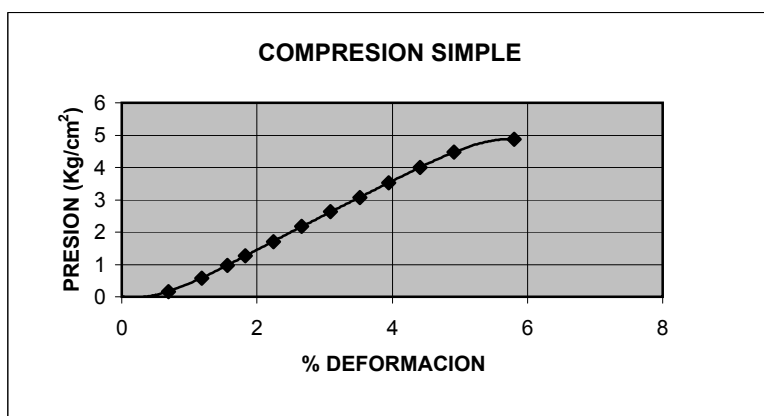


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

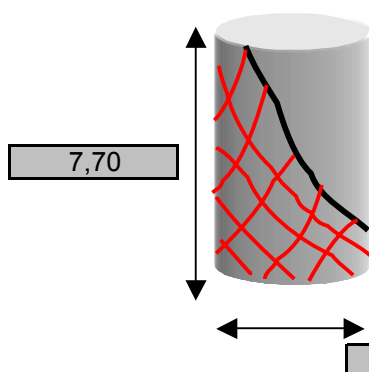
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,87
% DEF	5.81

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-3 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-3-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PRPARADA
<b>FECHA:</b> 18/11/2003	7 DÍAS
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	164,94
TARA (g):	92,42
TARA+SUELO+AGUA (g):	253,01
TARA+SUELO SECO (g):	217,3
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	28,60

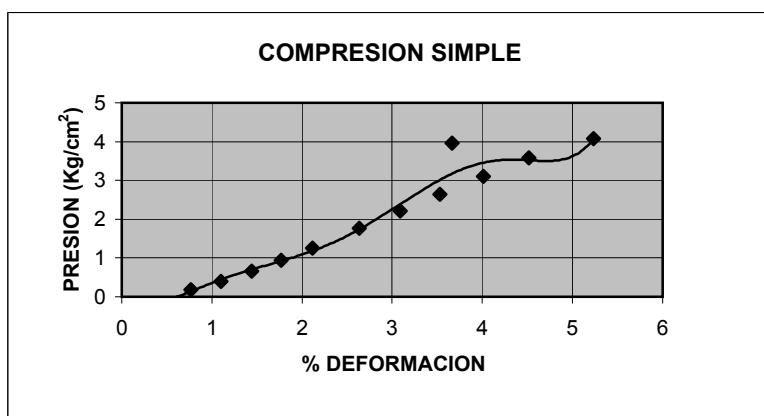


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

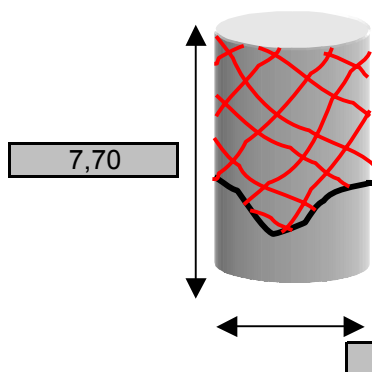
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,08
% DEF	5.23

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-4 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-4-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** MUESTRA SIN MADURAR  
**DESCRIPCIÓN:** METIDO EN AGUA DESTILADA  
**FECHA:** 18/11/2003 7 DÍAS  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g): 165,03  
 TARA (g): 92,65  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 254,21  
 TARA+SUELO SECO (g): 218,94  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,89  
 HUMEDAD (%): 27,93

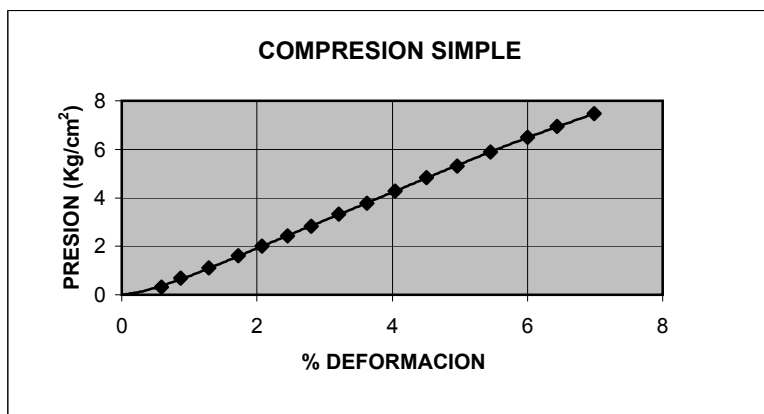


**VELOCIDAD**  
 1,21 mm/seg

**K ANILLO**  
 0,0396

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0		0	
00:20,13	0	176	45	0,31	0,58	
00:32,20	1	190	67	0,68	0,87	
00:49,28	3	33	99	1,11	1,29	
01:06,34	4	115	133	1,60	1,73	
01:18,80	5	150	160	2,01	2,08	
01:30,54	6	190	189	2,43	2,45	
01:44,35	8	22	216	2,83	2,81	
01:58,38	9	100	247	3,32	3,21	
02:13,05	10	168	279	3,79	3,62	
02:30,47	12	55	311	4,29	4,04	
02:48,16	13	162	347	4,82	4,51	
03:07,48	15	45	382	5,32	4,96	
03:23,67	16	170	420	5,88	5,45	
03:41,07	18	118	462	6,49	6,00	
03:56,60	19	170	496	6,93	6,44	
04:16,85	21	80	538	7,47	6,99	R

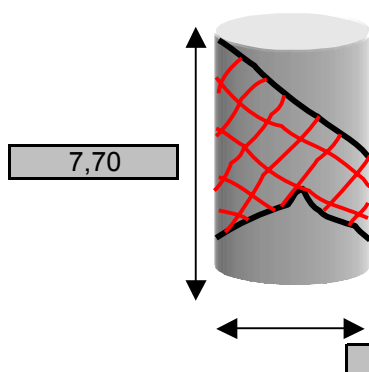
**Q<sub>u</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)** 7,47  
**% DEF** 6,99



**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-4 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-4-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** MUESTRA SIN MADURAR  
**DESCRIPCIÓN:** METIDO EN AGUA PREPEARAD  
**FECHA:** 18/11/2003 7 DÍAS  
**CLIENTE:**



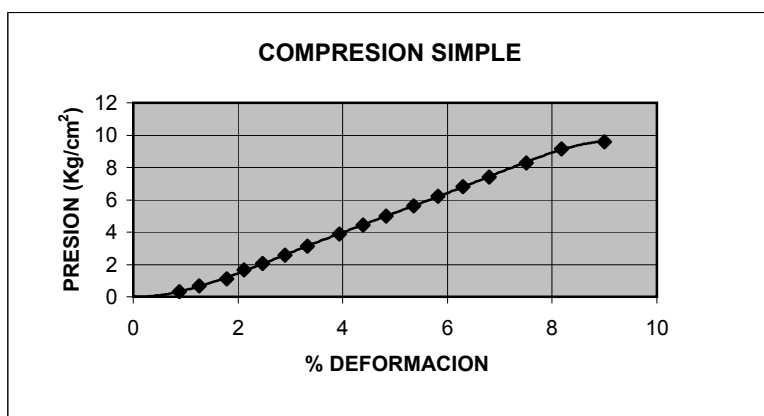
**PESO DE TESTIGO (g):** 163,9  
**TARA (g):** 92,63  
**TARA+SUELO+AGUA (g):** 250,03  
**TARA+SUELO SECO (g):** 217,18  
**DENSIDAD AP. (g/cm³):** 1,88  
**HUMEDAD (%):** 26,37

**VELOCIDAD**  
 1,21 mm/seg

**K ANILLO**  
 0,0396

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm²	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0		0	
0,33,75	0	172	68	0,30	0,88	
0,47,59	1	190	97	0,68	1,26	
1,03,49	3	45	137	1,13	1,78	
1,19,46	4	150	163	1,66	2,12	
1,32,62	5	188	190	2,07	2,47	
1,49,15	7	82	223	2,59	2,90	
1,06,18	8	190	256	3,13	3,32	
2,30,09	11	20	303	3,88	3,94	
2,47,34	12	148	338	4,45	4,39	
3,04,15	14	60	372	4,99	4,83	
3,24,12	16	32	412	5,64	5,35	
3,42,78	17	167	448	6,23	5,82	
3,59,87	19	93	485	6,80	6,30	
4,18,90	21	48	523	7,42	6,79	
4,45,58	23	150	578	8,29	7,51	
5,12,14	26	40	630	9,15	8,18	
5,47,22	27	96	693	9,60	9,00	R

<b>Q<sub>u</sub> (Kg/cm²)</b>	9,60
<b>% DEF</b>	9,00



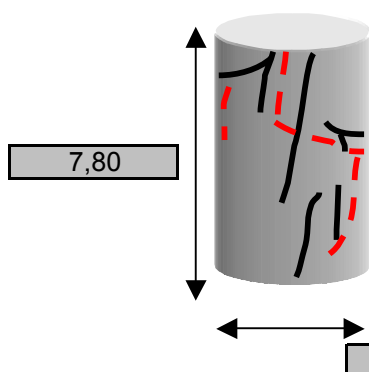
**OBSERVACIONES:**

#### **3.4.4 Sin maduración 30 días**

**REFERENCIA:** BANDEJA-1  
**CALICATA:** BANDEJA-1-2  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	167,83
TARA (g):	116,64
TARA+SUELO+AGUA (g):	284,28
TARA+SUELO SECO (g):	245,52
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	30,07

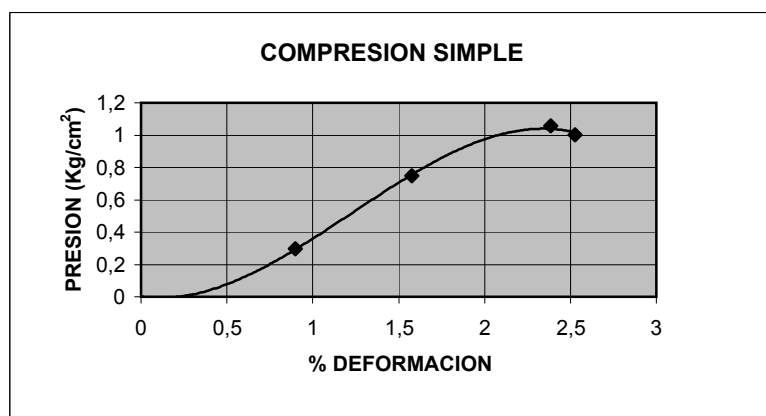


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

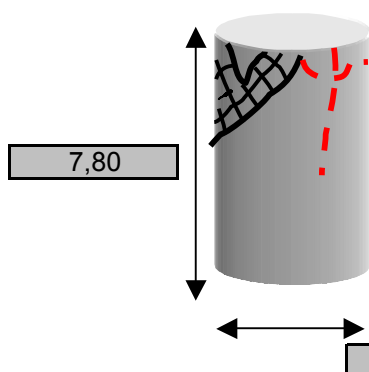
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,06
% DEF	2.38

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-1  
**CALICATA:** BANDEJA-1-6  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	167,62
TARA (g):	118,18
TARA+SUELO+AGUA (g):	285,41
TARA+SUELO SECO (g):	246,67
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	30,15

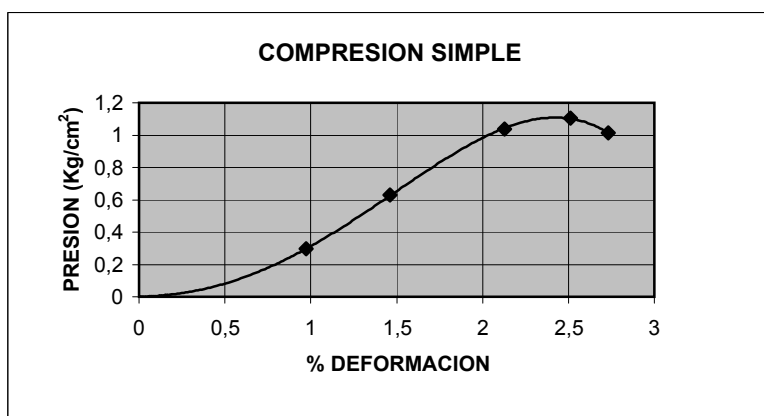


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,11
% DEF	2.51

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-2  
**CALICATA:** BANDEJA-2-2  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):

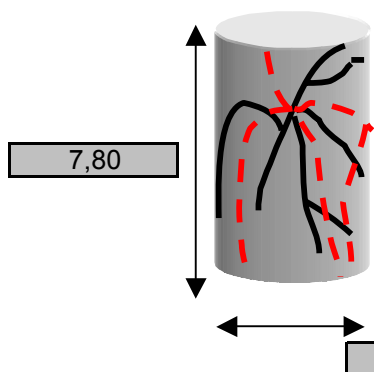
TARA (g):

TARA+SUELO+AGUA (g):

TARA+SUELO SECO (g):

DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 0,00

HUMEDAD (%): #DIV/0!



VELOCIDAD

1,21 mm/seg

K ANILLO

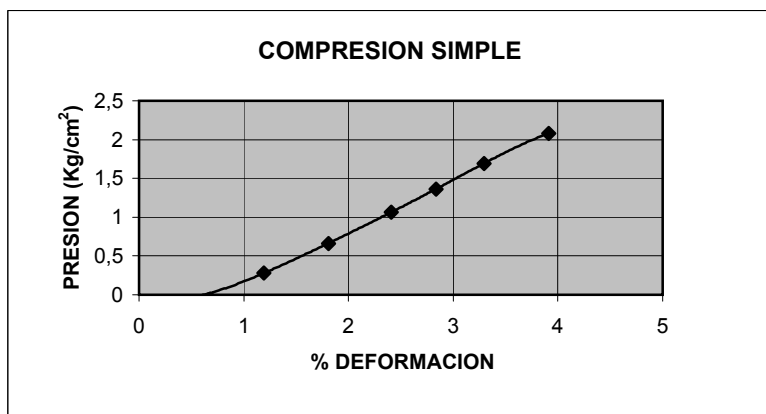
---

0,0396

3,80

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2,08
<b>% DEF</b>	3,91

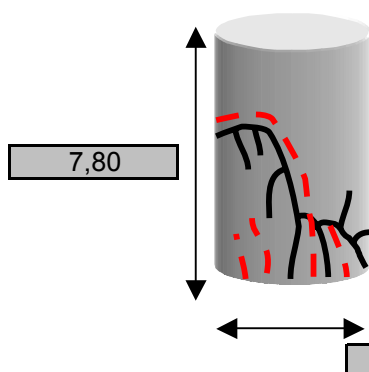
**OBSERVACIONES:**



**REFERENCIA:** BANDEJA-2  
**CALICATA:** BANDEJA-2-6  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	169
TARA (g):	118,42
TARA+SUELO+AGUA (g):	287,24
TARA+SUELO SECO (g):	246,78
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	31,52

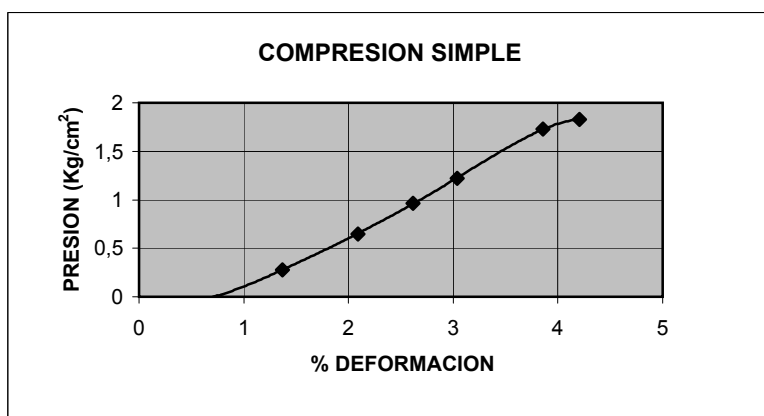


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

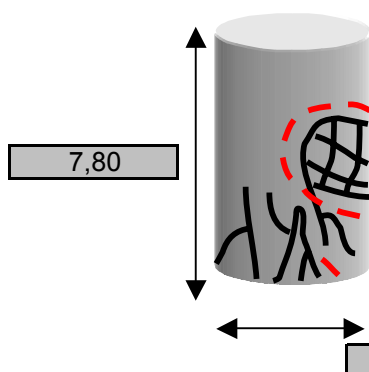
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,83
% DEF	4.21

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-3  
**CALICATA:** BANDEJA-3-2  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	167,34
TARA (g):	116,57
TARA+SUELO+AGUA (g):	281,82
TARA+SUELO SECO (g):	242,02
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	31,73

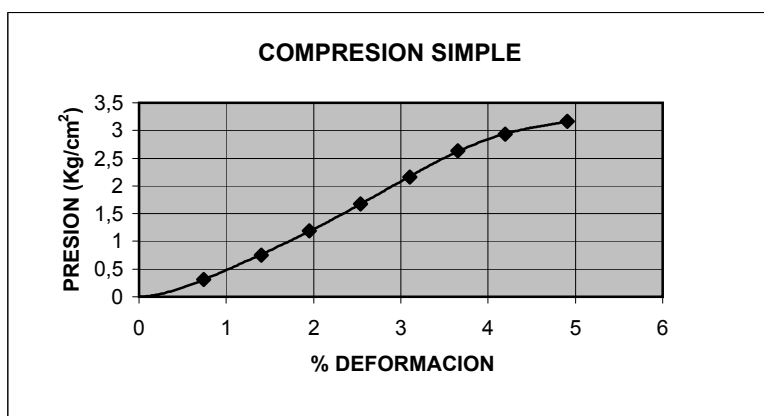


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

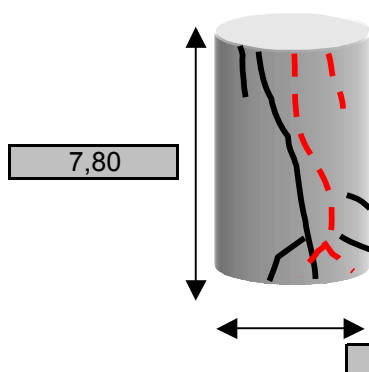
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	3,16
% DEF	4.91

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-3  
**CALICATA:** BANDEJA-3-6  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDA EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	170,19
TARA (g):	116,91
TARA+SUELO+AGUA (g):	286,87
TARA+SUELO SECO (g):	243,68
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,92
HUMEDAD (%):	34,07

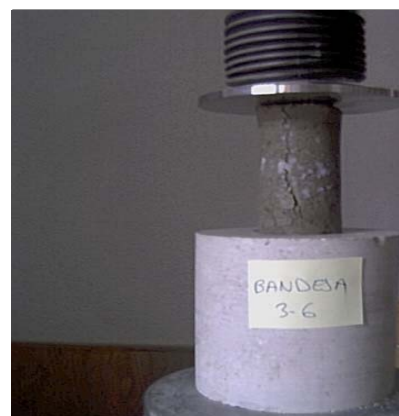
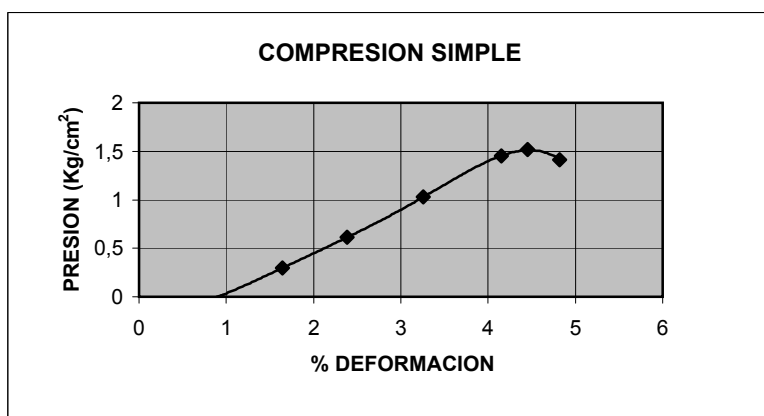


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

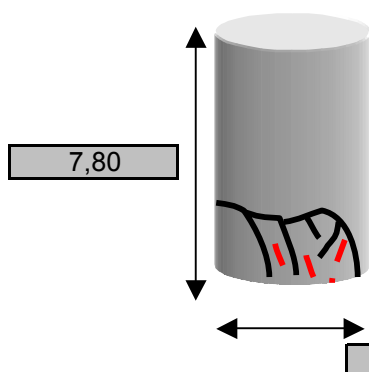
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,52
% DEF	4.45

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-4  
**CALICATA:** BANDEJA-4-2  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	165,79
TARA (g):	118,44
TARA+SUELO+AGUA (g):	284,09
TARA+SUELO SECO (g):	245,14
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,87
HUMEDAD (%):	30,74

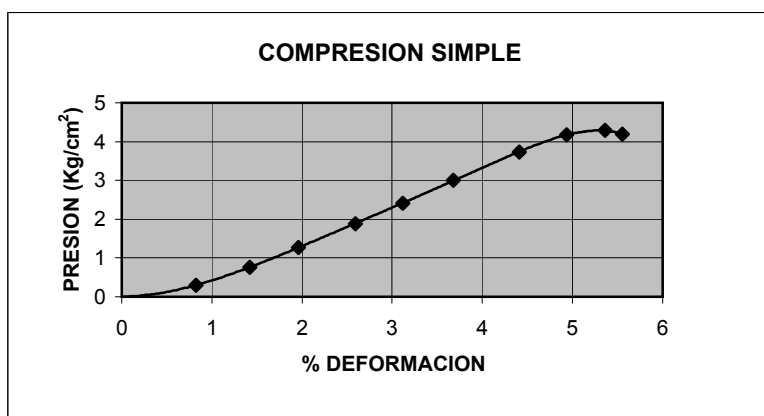


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

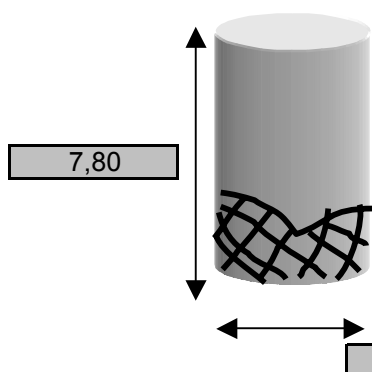
[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,28
% DEF	5.36

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** BANDEJA-4  
**CALICATA:** BANDEJA-4-6  
**PROFUNDIDAD:** EFECTO SULFATOS  
**OBRA:** BOBADILLA 232102  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	MUESTRA SIN MADURAR
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b> 11/12/2003	30 DIAS
<b>CLIENTE:</b>	FAX DEL DIA= 28/10/03



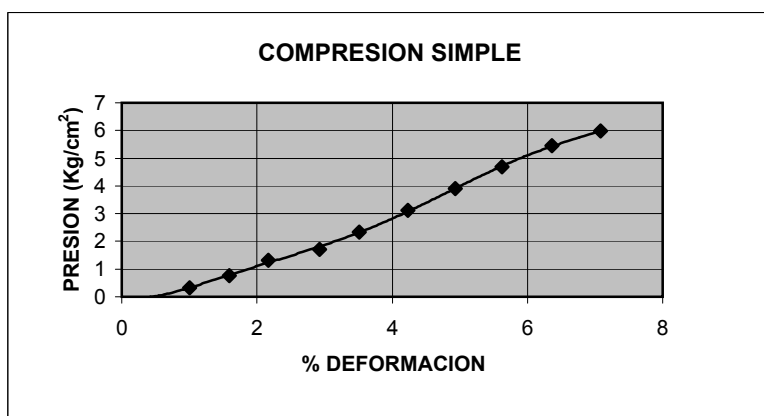
PESO DE TESTIGO (g):	168,2
TARA (g):	116,75
TARA+SUELO+AGUA (g):	284,55
TARA+SUELO SECO (g):	245,4
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	30,43

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	5,98
% DEF	7,08

**OBSERVACIONES:**

### **3.4.5 Maduración 90 días**

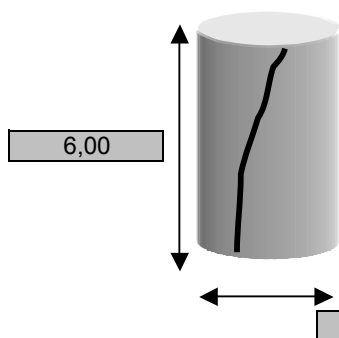
**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-5-3

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA 90 DÍAS, MUESTRA MADURADA
<b>FECHA:</b>	10/02/2004

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:**  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	119,77
TARA (g):	178,1
TARA+SUELO+AGUA (g):	297,69
TARA+SUELO SECO (g):	265,69
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,76
HUMEDAD (%):	36,53

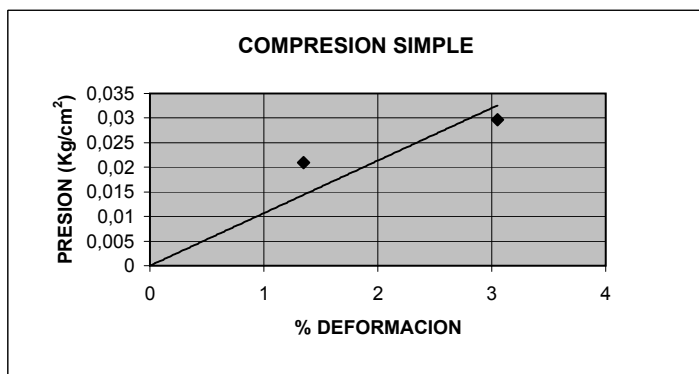


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,03
% DEF	3.05



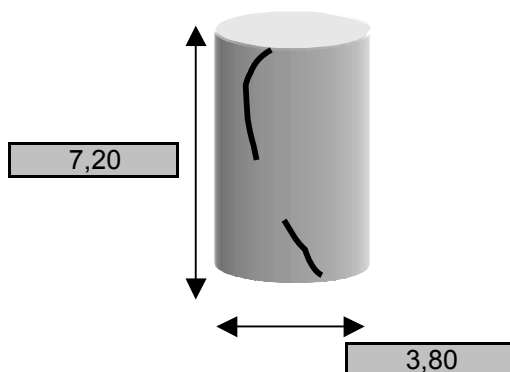
**OBSERVACIONES:** LAS ORILLAS DEL TESTIGO ESTAN DESECHAS

**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-5-7

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFFECTOS SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
<b>FECHA:</b>	90 DÍAS, MUESTRA MADURADA
<b>CLIENTE:</b>	10/02/2004

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	143,14
TARA (g):	176,88
TARA+SUELO+AGUA (g):	319,63
TARA+SUELO SECO (g):	282,55
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,75
HUMEDAD (%):	35,09

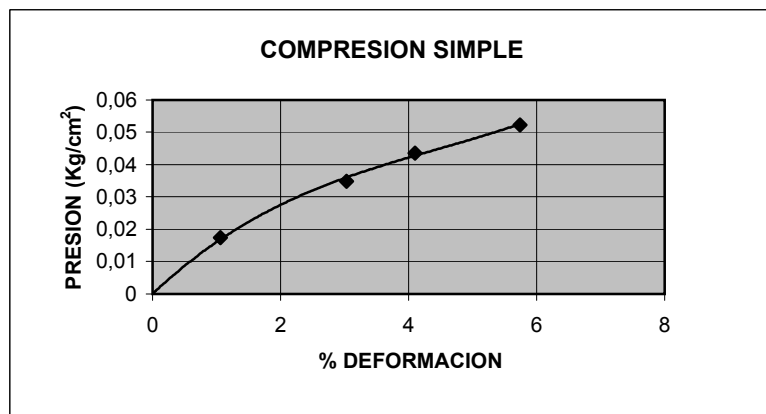


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,05
% DEF	5.74



**OBSERVACIONES:** LAS ORILLAS DEL TESTIGO, ESTABAN DESECHAS

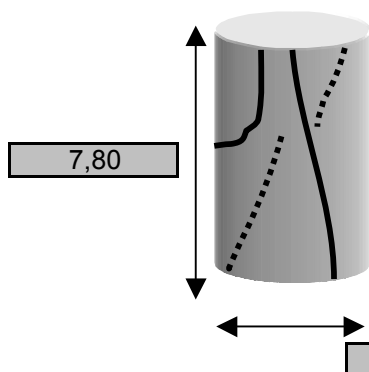


**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-6-3

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFFECTOS SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUADESTILADA
<b>FECHA:</b>	90 DÍAS, MUESTRA MADURADA
<b>CLIENTE:</b>	10/02/2004

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	170,54
TARA (g):	220,35
TARA+SUELO+AGUA (g):	390,56
TARA+SUELO SECO (g):	351,16
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,93
HUMEDAD (%):	30,12

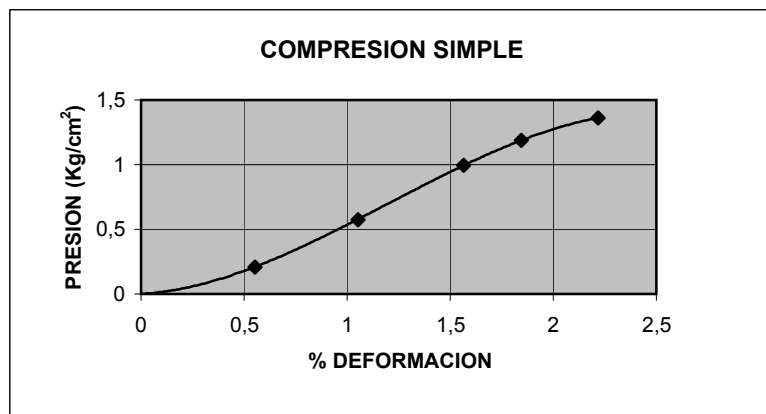


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,36
% DEF	2.22

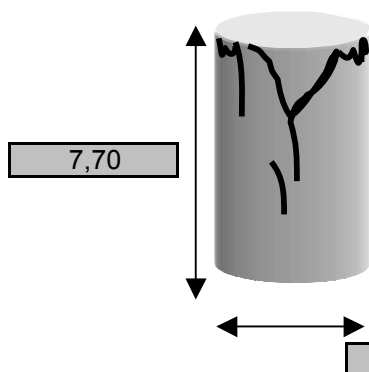
**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-6-7

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA
	90 DÍAS, MUESTRA MADURADA
<b>FECHA:</b>	10/02/2004
<b>CLIENTE:</b>	

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	169,22
TARA (g):	220,33
TARA+SUELO+AGUA (g):	385,76
TARA+SUELO SECO (g):	347,45
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,94
HUMEDAD (%):	30,14

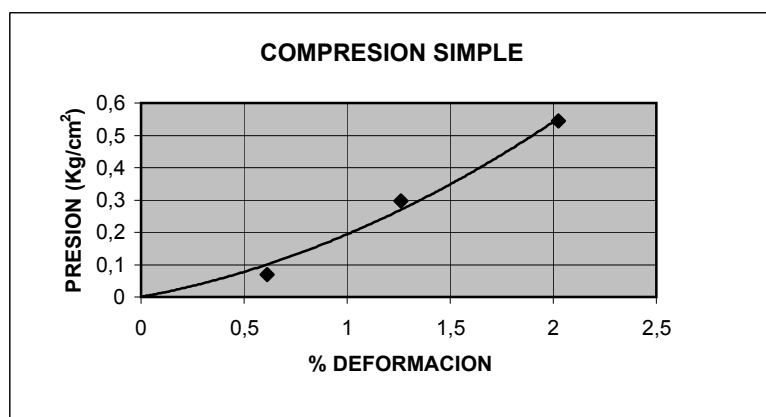


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

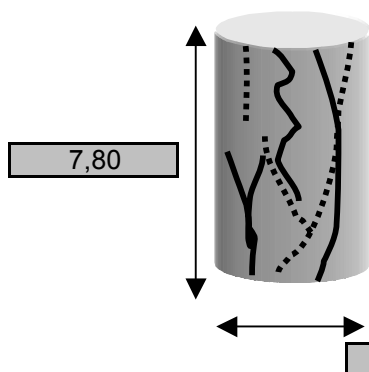
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,54
% DEF	2.03

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-7-3

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA
	90 DÍAS,MUESTRA MADURADA
<b>FECHA:</b>	10/02/2004
<b>CLIENTE:</b>	

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**



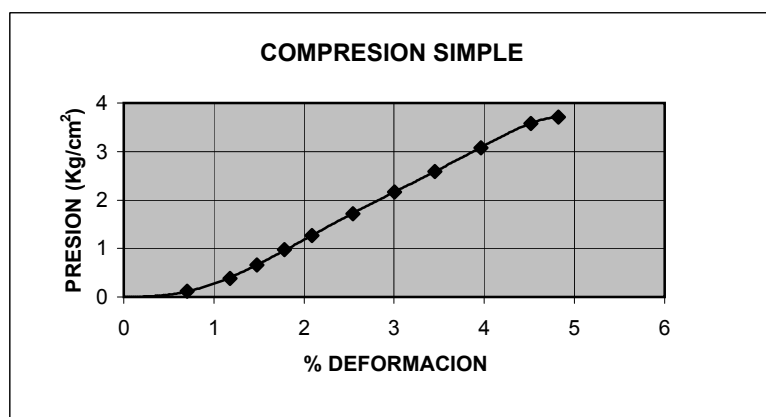
PESO DE TESTIGO (g):	170,7
TARA (g):	219,99
TARA+SUELO+AGUA (g):	390,25
TARA+SUELO SECO (g):	351,25
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,93
HUMEDAD (%):	29,71

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	3,71
% DEF	4.82

**OBSERVACIONES:**

### **3.4.6 Sin maduración 90 días**

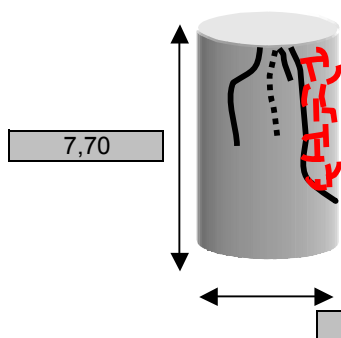
**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-1-3

TIPO MUESTRA:	EFEECTO SULFATOS
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA DETILADA
	90 DÍAS , MUESTRA SIN MADURAR
FECHA:	09/02/2004

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 09/02/2004  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	167,63
TARA (g):	116,62
TARA+SUELO+AGUA (g):	283,58
TARA+SUELO SECO (g):	
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,92
HUMEDAD (%):	-243,17

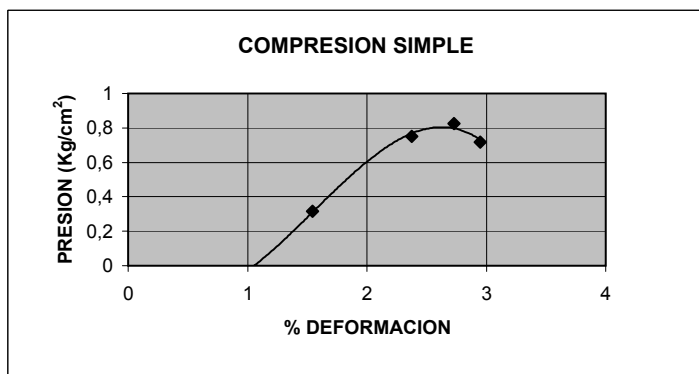


VELOCIDAD	
1,18	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,83
% DEF	2.73

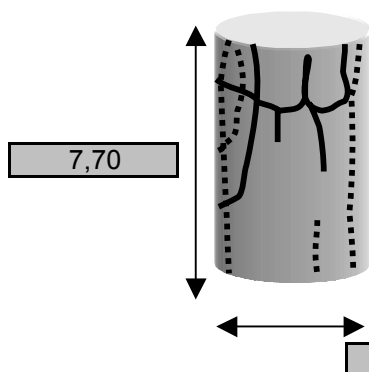
**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-1-7

TIPO MUESTRA:	EFEECTO SULFATOS
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA PREPARADA
	90 DÍAS, MUESTRA SIN MADUR
FECHA:	09/02/2004
CLIENTE:	

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	167,07
TARA (g):	118,55
TARA+SUELO+AGUA (g):	285,47
TARA+SUELO SECO (g):	
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	-240,80

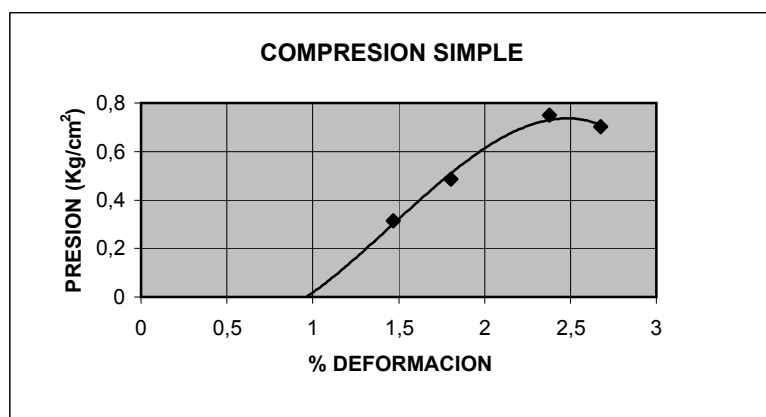


VELOCIDAD	
1,18	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

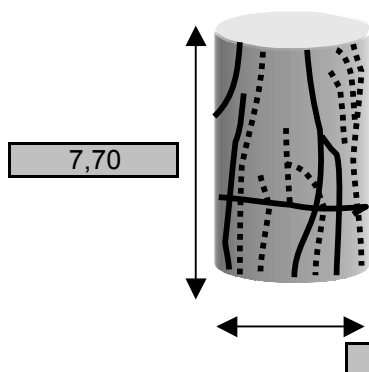
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,75
% DEF	2.38

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-2-3

TIPO MUESTRA:	EFFECTOS SULFATOS
DESCRIPCIÓN:	METIDO EN AGUA DESTILADA
	90 DÍAS, MUESTRA SIN MADUR
FECHA:	09/02/2004
CLIENTE:	

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**



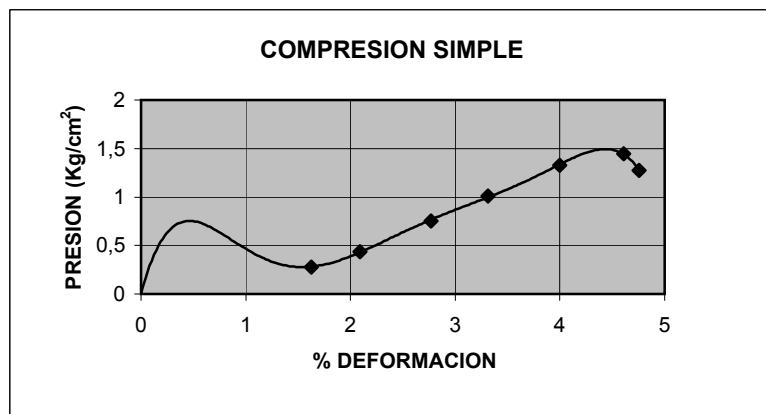
PESO DE TESTIGO (g):	170,04
TARA (g):	116,9
TARA+SUELO+AGUA (g):	286,96
TARA+SUELO SECO (g):	
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,95
HUMEDAD (%):	-245,47

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,45
% DEF	4.61

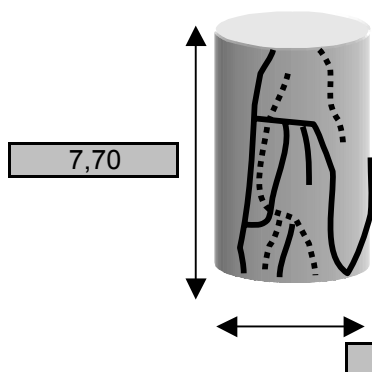
**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-2-7

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA PREPARADA 90 DÍAS, MUESTRA SIN MADUR.

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 09/02/2004  
**CLIENTE:**



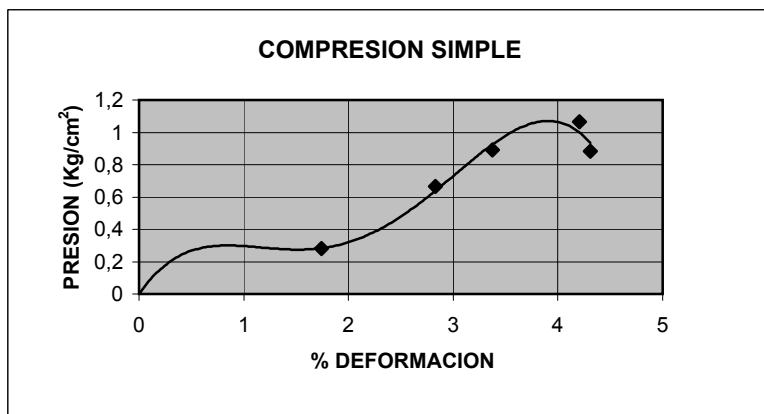
PESO DE TESTIGO (g):	172,73
TARA (g):	118,64
TARA+SUELO+AGUA (g):	291,33
TARA+SUELO SECO (g):	247,01
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,98
HUMEDAD (%):	34,53

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,06
% DEF	4.21

**OBSERVACIONES:**

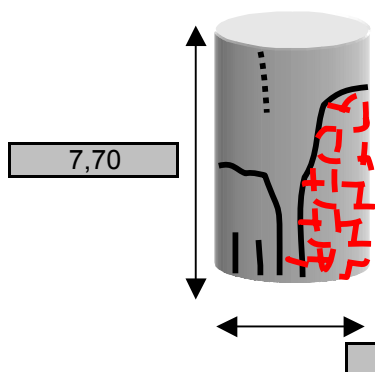


**REFERENCIA:** 232102  
**CALICATA:** BANDEJA-3-3

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	METIDO EN AGUA DESTILADA 90 DÍAS. MUESTRA SIN MADUR.

**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 09/02/2004  
**CLIENTE:**

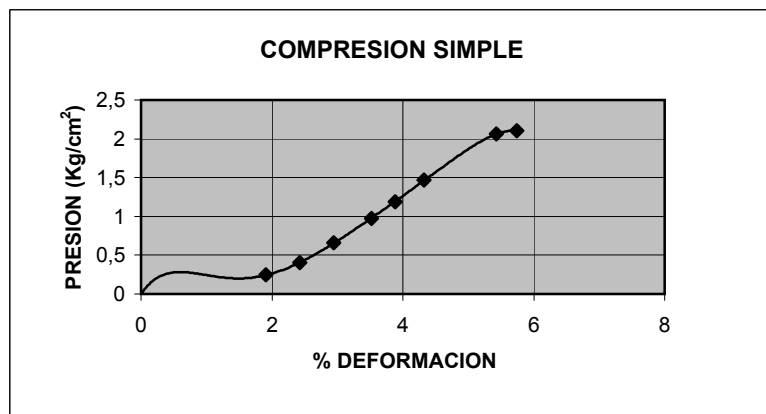


PESO DE TESTIGO (g):	170,78
TARA (g):	118,36
TARA+SUELO+AGUA (g):	287,3
TARA+SUELO SECO (g):	243,88
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,96
HUMEDAD (%):	34,59

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,10
% DEF	5.74

**OBSERVACIONES:**

### **3.4.7 Maduración 360 días**

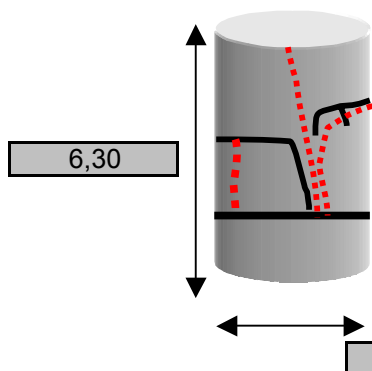
**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO.** BANDEJA-5

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFFECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURANDO UNA SEMANA EN C. HÚMEDA, METIDO EN AGUA DESTILADA 360 DÍAS.

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-5-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 12/11/03-08/11/04  
**CLIENTE:** FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	136,7
TARA (g):	118,42
TARA+SUELO+AGUA (g):	254,55
TARA+SUELO SECO (g):	214,15
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	42,20

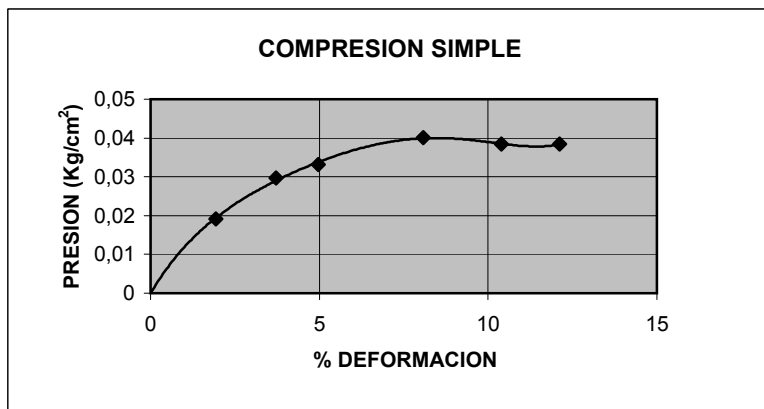


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,04
% DEF	10.4



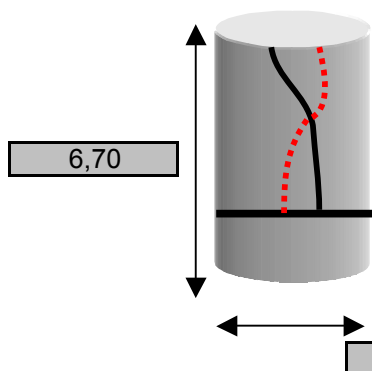
**OBSERVACIONES:** FALTA UN TROZO DE LA PARTE DE ABAJO

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-5

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURACIÓN UNA SEMANA E C. HÚMEDA, METIDO EN AGUA PREPARADA 360 DÍAS
<b>FECHA:</b>	12/11/03-08/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-5-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

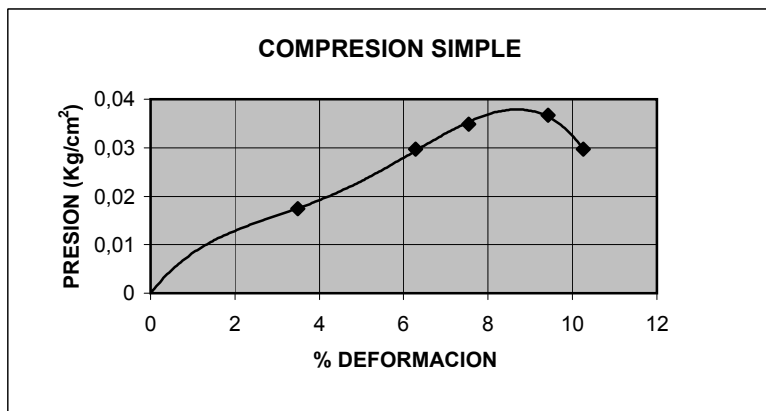
PESO DE TESTIGO (g):	144,01
TARA (g):	118,56
TARA+SUELO+AGUA (g):	261,68
TARA+SUELO SECO (g):	218,06
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	43,84



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,04
% DEF	9.42



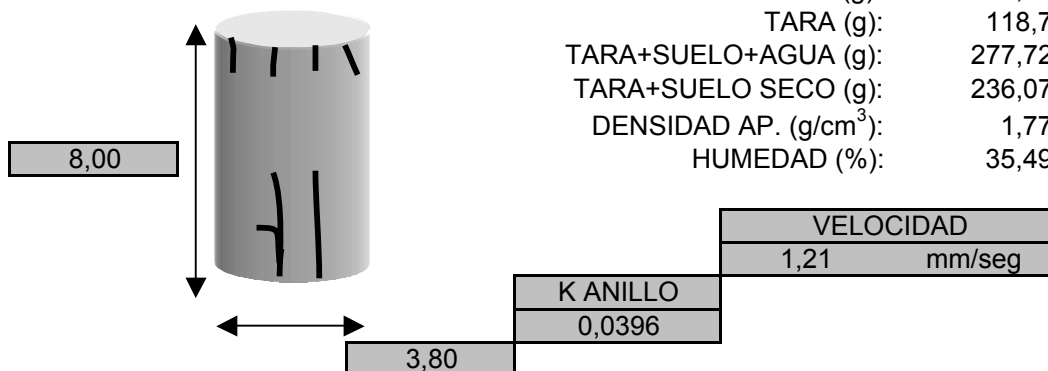
**OBSERVACIONES:** FALTA UN TROZO DE ABAJO

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-6

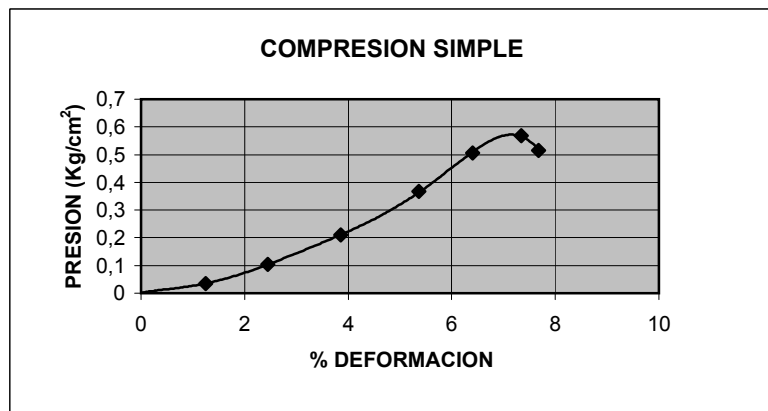
<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURACIÓN UNA SEMANA E C. HÚMEDA,METIDO EN AGUA DESTILADA 360 DÍAS.
<b>FECHA:</b>	12/11/03-08/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-6-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	160,29
TARA (g):	118,7
TARA+SUELO+AGUA (g):	277,72
TARA+SUELO SECO (g):	236,07
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,77
HUMEDAD (%):	35,49

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,57
<b>% DEF</b>	7.34

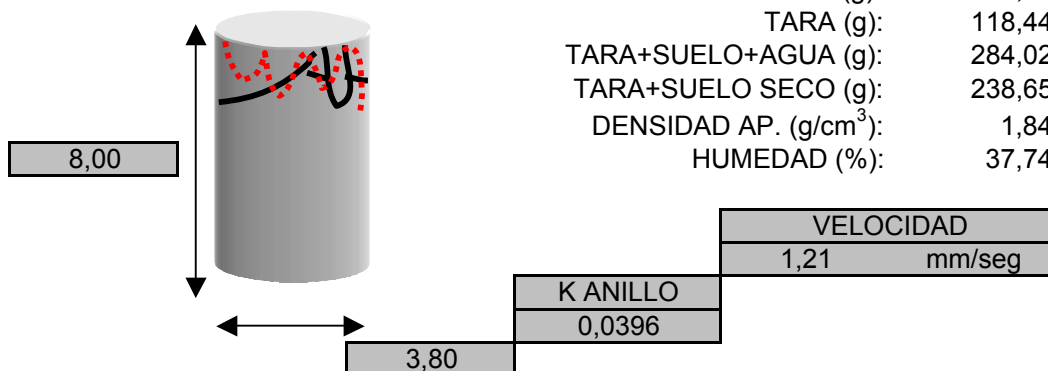
**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-6

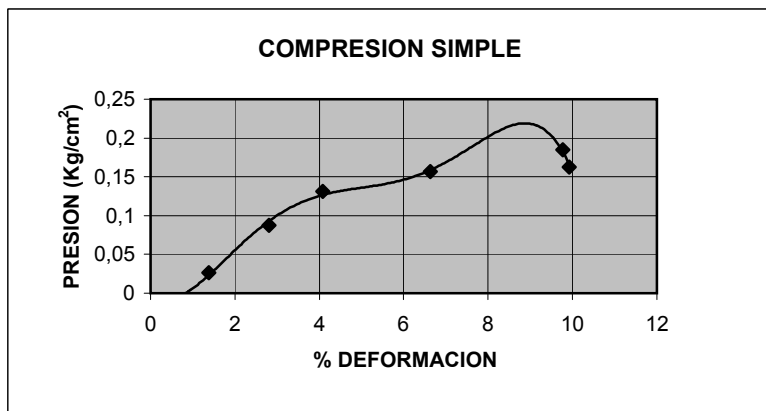
<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURACIÓN UNA SEMANA E C. HÚMEDA, METIDO EN AGUA PREPARADA 360 DIAS.
<b>FECHA:</b>	12/11/03-08/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-6-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	167,08
TARA (g):	118,44
TARA+SUELO+AGUA (g):	284,02
TARA+SUELO SECO (g):	238,65
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,84
HUMEDAD (%):	37,74

[illegible]

<b>Q<sub>II</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,19
<b>% DEF</b>	9.78

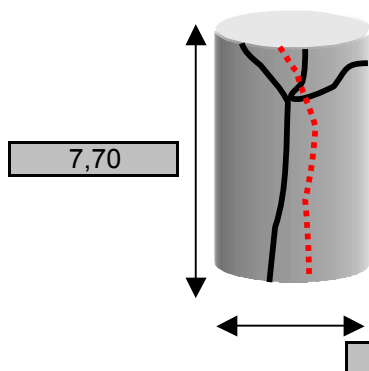
**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-7

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURACIÓN UNA SEMANA E C. HÚMEDA,METIDO EN AGUA DESTILADA 360 DÍAS.
<b>FECHA:</b>	12/11/03-08/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-7-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	162,85
TARA (g):	116,58
TARA+SUELO+AGUA (g):	279,12
TARA+SUELO SECO (g):	235,72
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	36,43

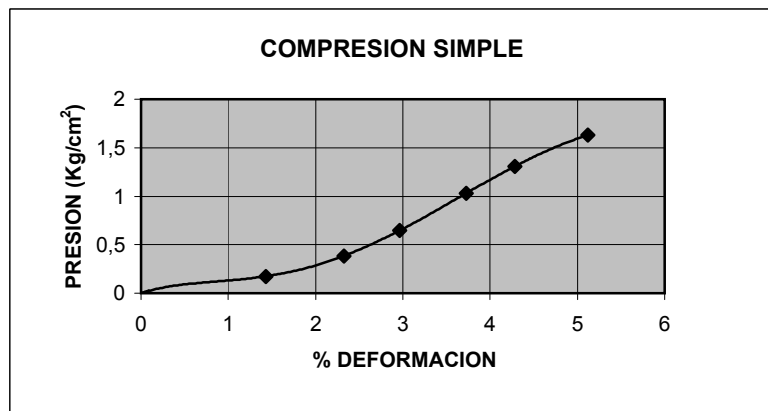


VELOCIDAD	
1,212	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,63
% DEF	5.12

**OBSERVACIONES:**

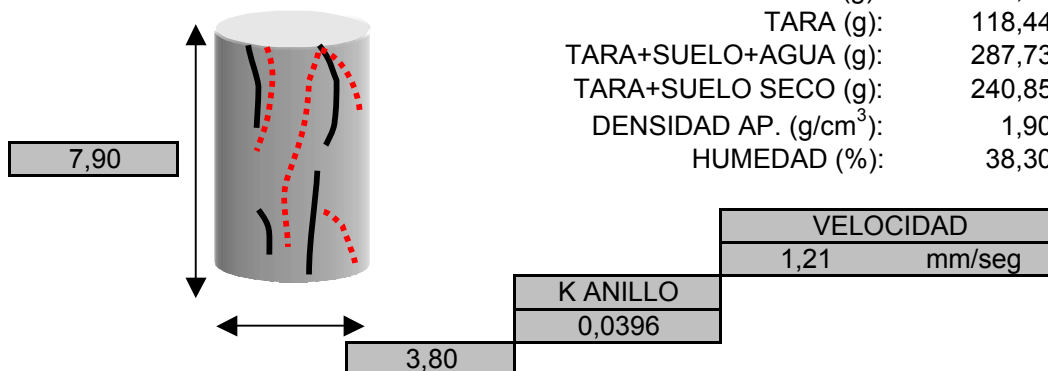
**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-7

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURACIÓN UNA SEMANA E C. HÚMEDA, METIDO EN AGUA PREPARADA 360 DÍAS.

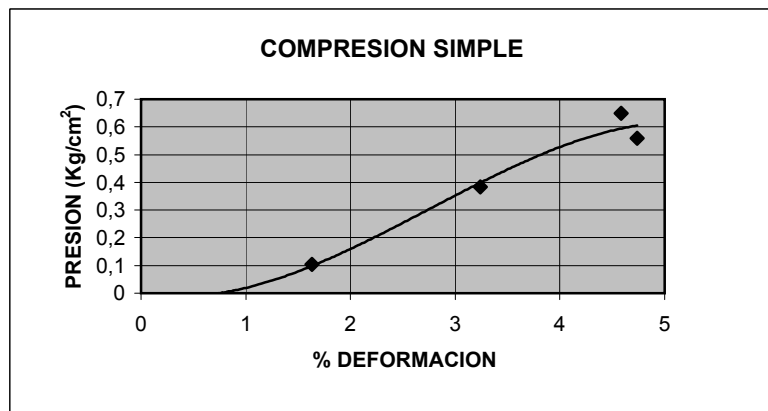
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-7-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 12/11/03-08/11/04  
**CLIENTE:** FAX ENVIADO EL 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	169,93
TARA (g):	118,44
TARA+SUELO+AGUA (g):	287,73
TARA+SUELO SECO (g):	240,85
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	38,30



$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,65
% DEF	4.58

**OBSERVACIONES:**



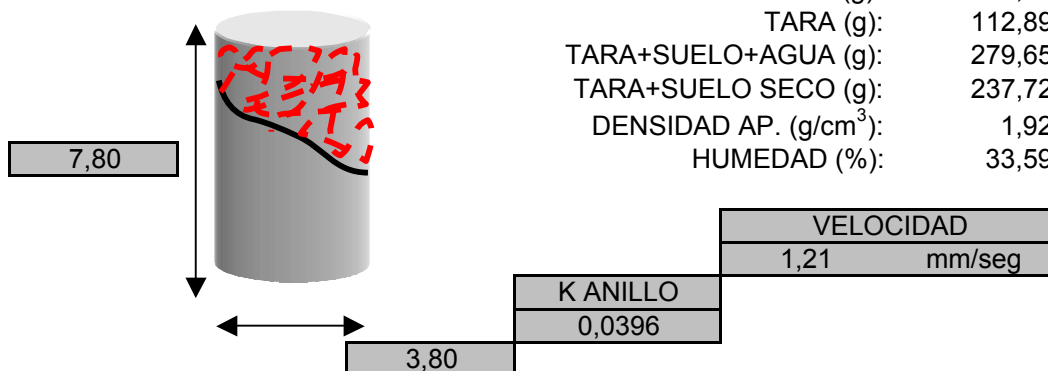
**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-8

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURACIÓN UNA SEMANA E C. HÚMEDA, METIDO EN AGUA DISTILADA 360 DÍAS.

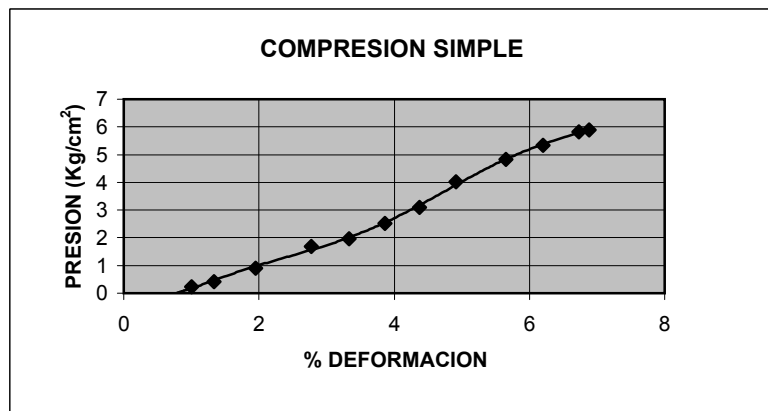
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-8-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 12/11/03-08/11/04  
**CLIENTE:** FAX ENVIADO EL 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	169,63
TARA (g):	112,89
TARA+SUELO+AGUA (g):	279,65
TARA+SUELO SECO (g):	237,72
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,92
HUMEDAD (%):	33,59

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	5,90
% DEF	6.88

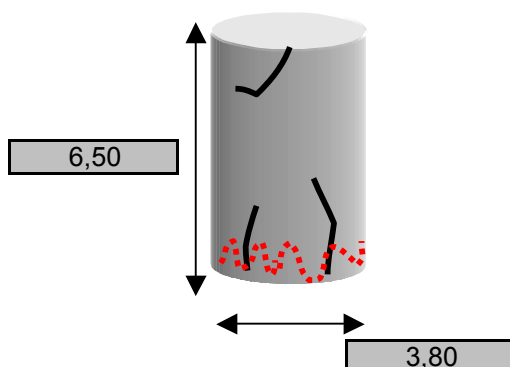
**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-8

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MADURACIÓN UNA SEMANA E C. HÚMEDA, METIDO EN AGUA PREPARADA 360 DÍAS.
<b>FECHA:</b>	12/11/03-08/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-8-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	143,21
TARA (g):	116,62
TARA+SUELO+AGUA (g):	259,39
TARA+SUELO SECO (g):	221,73
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,94
HUMEDAD (%):	35,83

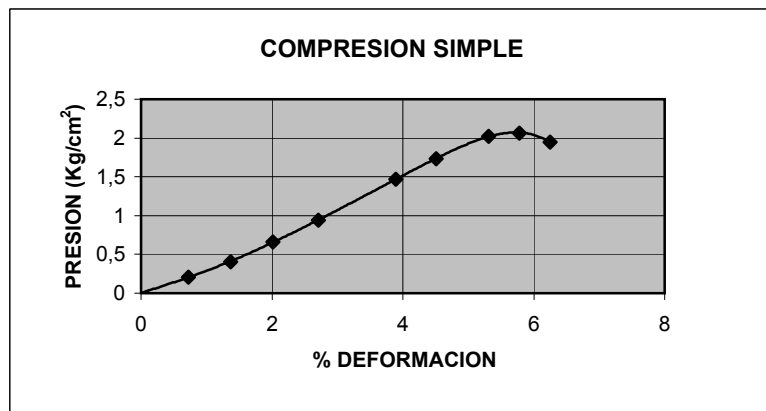


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,06
% DEF	5,78



**OBSERVACIONES:** FALTA UN TROZO DE ABAJO

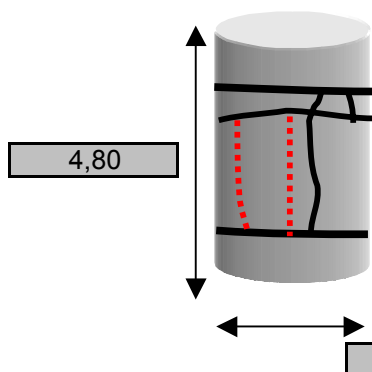
#### **3.4.8 Sin maduración 360 días**

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-I

<b>TIPO MUESTRA:</b>	E. SUFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	M. SIN MADURAR, METIDO EN AGUA DESTILADA 360 DÍAS
<b>FECHA:</b>	11/11/03-05/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-1-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	111,38
TARA (g):	116,96
TARA+SUELO+AGUA (g):	227,9
TARA+SUELO SECO (g):	197,6
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	2,05
HUMEDAD (%):	37,57

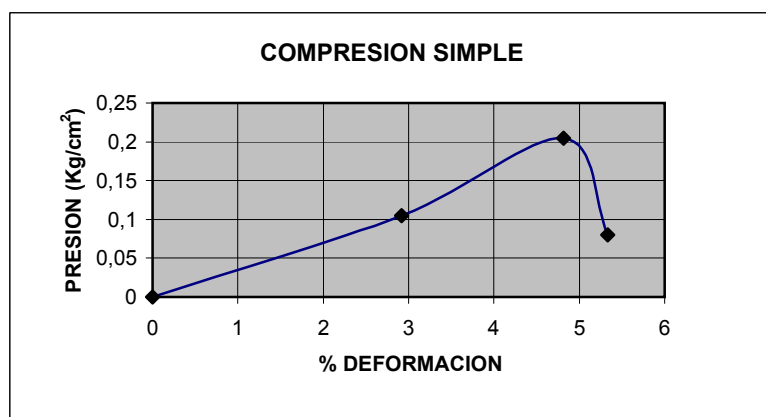


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,20
% DEF	4.81



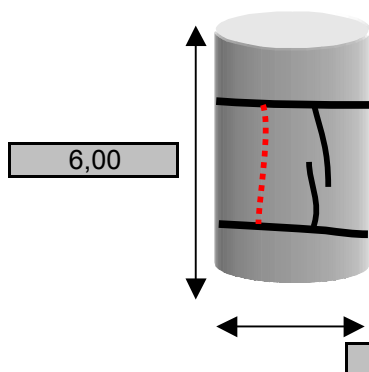
**OBSERVACIONES:** FALTAN UN TROZO DE ARRIBA Y OTRO DE ABAJO, HA QUEDADO LO QUE ESTABA CUBIERTO CON CELO, SUJETANDO EL CÓDIGO.

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-1

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	M.SIN MADURAR,METIDO EN AGUA PREPARADA 360 DÍAS
<b>FECHA:</b>	02/05/1900
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-1-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

PESO DE TESTIGO (g):	123,2
TARA (g):	116,29
TARA+SUELO+AGUA (g):	239,27
TARA+SUELO SECO (g):	203,27
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,81
HUMEDAD (%):	41,39

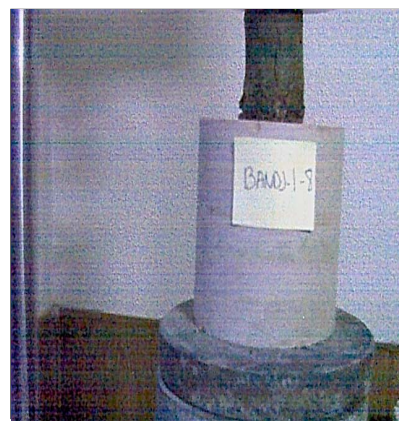
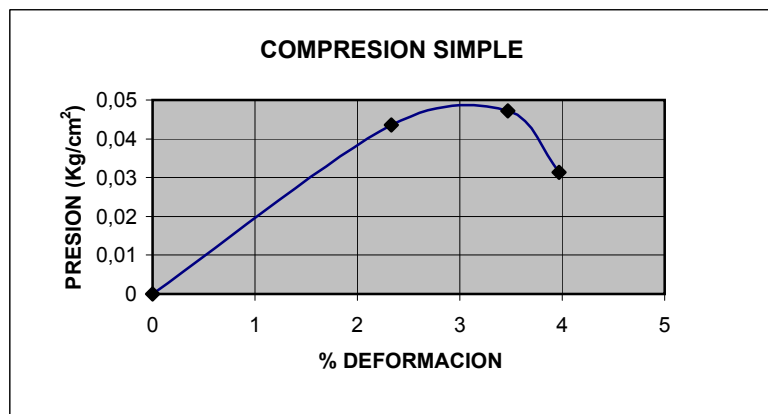


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,05
% DEF	3.47

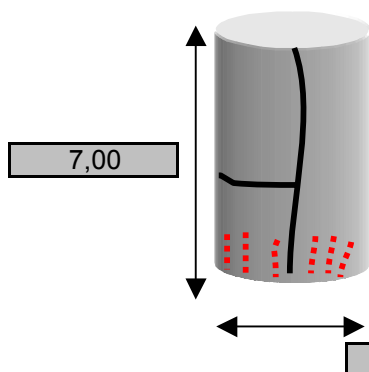


**OBSERVACIONES:** FALTA UN TROZO DE ARRIBA Y OTRO DE ABAJO

**REFERENCIA:** 232102  
**SODEO:** BANDEJA-2  
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-2-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	M. SIN MADURAR, METIDO EN AGUA DESTILADA 360 DÍAS.
<b>FECHA:</b>	11/11/03-05/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL 28/10/03

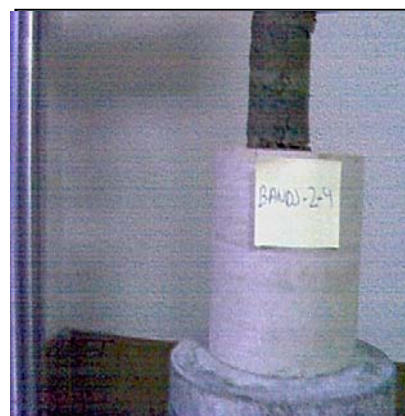
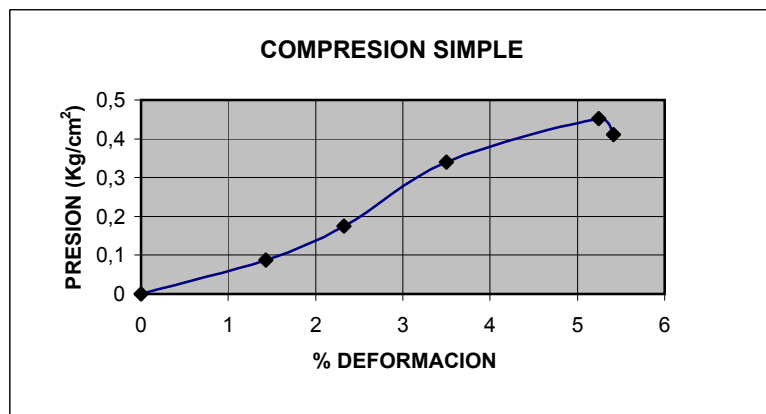
PESO DE TESTIGO (g):	151,49
TARA (g):	113,04
TARA+SUELO+AGUA (g):	264,19
TARA+SUELO SECO (g):	221,39
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,91
HUMEDAD (%):	39,50



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,45
% DEF	5.24

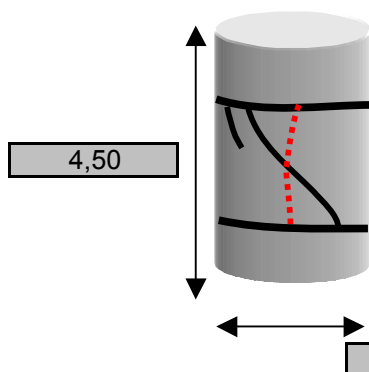


**OBSERVACIONES:** FALTAN UN TROZO DE ARRIBA Y ABAJO

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-2  
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-2-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	M. SIN MADURAR, METIDO EN AGUA PREPARADA 360 DÍAS
<b>FECHA:</b>	11/11/03-05/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	0,97
TARA (g):	114,61
TARA+SUELO+AGUA (g):	211,5
TARA+SUELO SECO (g):	184,25
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	0,02
HUMEDAD (%):	39,13

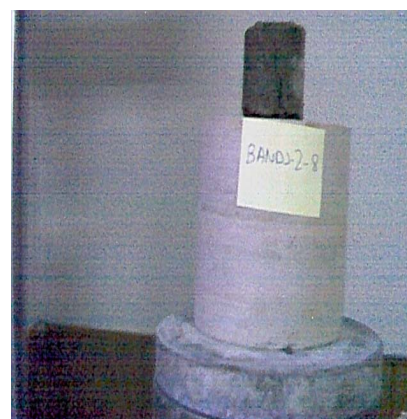
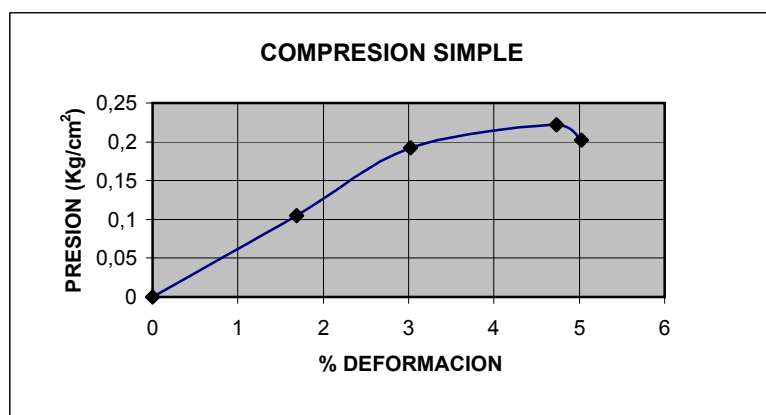


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,22
% DEF	4.73

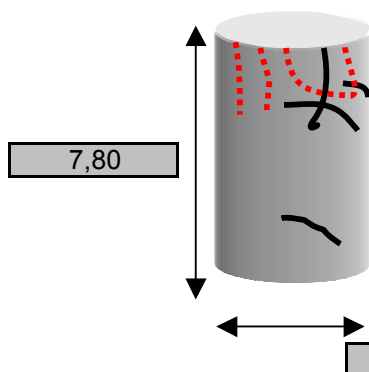


**OBSERVACIONES:** FALTAN UN TROZO DE ARRIBA Y ABAJO

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-3  
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-3-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	M. SIN MADURAR, METIDO EN AGUA DESTILADA 360 DÍAS
<b>FECHA:</b>	11/11/03-05/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA28/10/03

PESO DE TESTIGO (g):	172,93
TARA (g):	116,65
TARA+SUELO+AGUA (g):	289,43
TARA+SUELO SECO (g):	240,51
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,95
HUMEDAD (%):	39,50

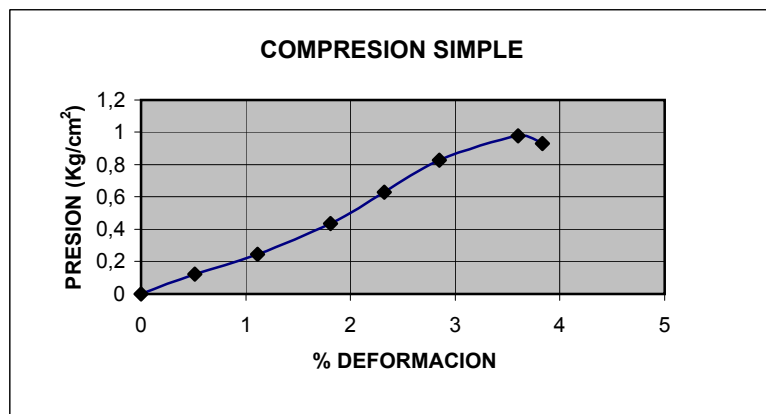


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,98
<b>% DEF</b>	3.6

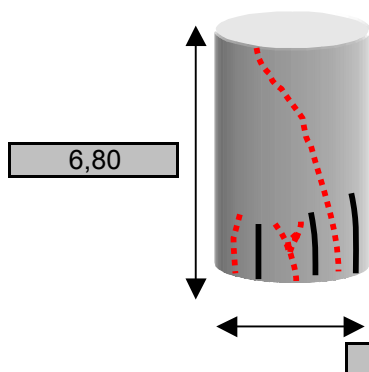
**OBSERVACIONES:**



**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-3  
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-3-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	M. SIN MADURAR, METIDO EN AGUA PREPARADA 360 DÍAS
<b>FECHA:</b>	11/11/03-05/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA28/10/03

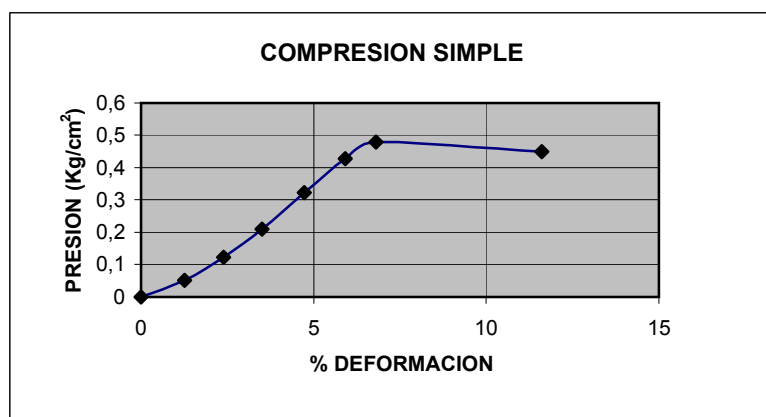
PESO DE TESTIGO (g):	153,02
TARA (g):	116,77
TARA+SUELO+AGUA (g):	269,75
TARA+SUELO SECO (g):	224,41
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,98
HUMEDAD (%):	42,12



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,48
% DEF	6.81

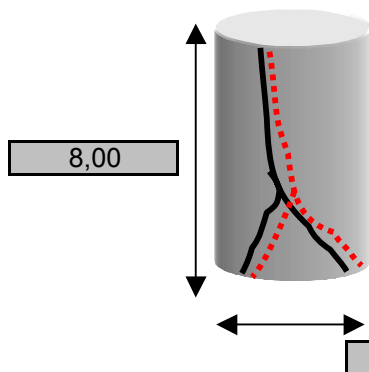


**OBSERVACIONES:** FALTA UN TROZO DE LA PARTE DE ABAJO

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-4

**TIPO MUESTRA:** EFECTO SULFATOS  
**DESCRIPCIÓN:** M. SI MADURAR METIDO EN AGUA DESTILADA 360 DÍAS  
**FECHA:** 11/11/03-05/11/04  
**CLIENTE:** FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-4-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

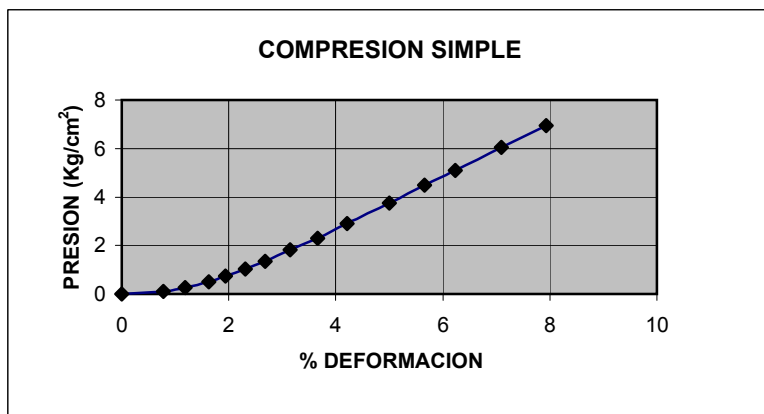


PESO DE TESTIGO (g): 169,65  
TARA (g): 114,26  
TARA+SUELO+AGUA (g): 281,28  
TARA+SUELO SECO (g): 236,59  
DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,87  
HUMEDAD (%): 36,53

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg
K ANILLO	
0,0396	

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0	0	0	
00:30,18	0	60	62	0,10	0,78	
00:46,18	0	150	95	0,26	1,19	
01:02,06	1	93	130	0,51	1,63	
01:13,53	2	22	155	0,74	1,94	
01:27,59	2	190	185	1,03	2,31	
01:41,28	3	170	214	1,34	2,68	
02:00,81	5	40	252	1,82	3,15	
02:20,12	6	120	293	2,30	3,66	
02:42,46	8	60	337	2,90	4,21	
03:12,27	10	140	400	3,74	5,00	
03:39,46	12	170	453	4,49	5,66	
04:01,58	14	120	499	5,10	6,24	
04:35,83	17	60	567	6,04	7,09	
05:10,14	19	175	634	6,94	7,93	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	6,94
% DEF	7,93

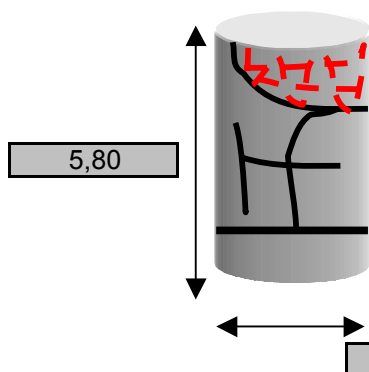


**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232102  
**SONDEO:** BANDEJA-4  
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-4-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	M. SIN MADURAR, METIDO EN AGUA PREPARADA 365 DÍAS
<b>FECHA:</b>	11/11/03-05/11/04
<b>CLIENTE:</b>	FAX ENVIADO EL DÍA 28/10/03

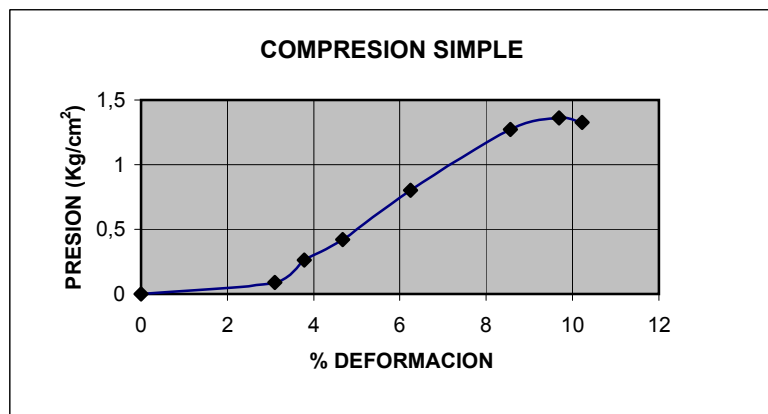
PESO DE TESTIGO (g):	122,28
TARA (g):	118,19
TARA+SUELO+AGUA (g):	238,55
TARA+SUELO SECO (g):	203,01
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	41,90



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,36
% DEF	9.69



**OBSERVACIONES:** FALTA UN TROZO DE LA PARTE DE ABAJO.

## **4. EFECTO SULFATO SUELO**

## **4.1 Ensayos de identificación**



OBRA:

BOBADILLA

CLIENTE:

0

CODIGO: 232401

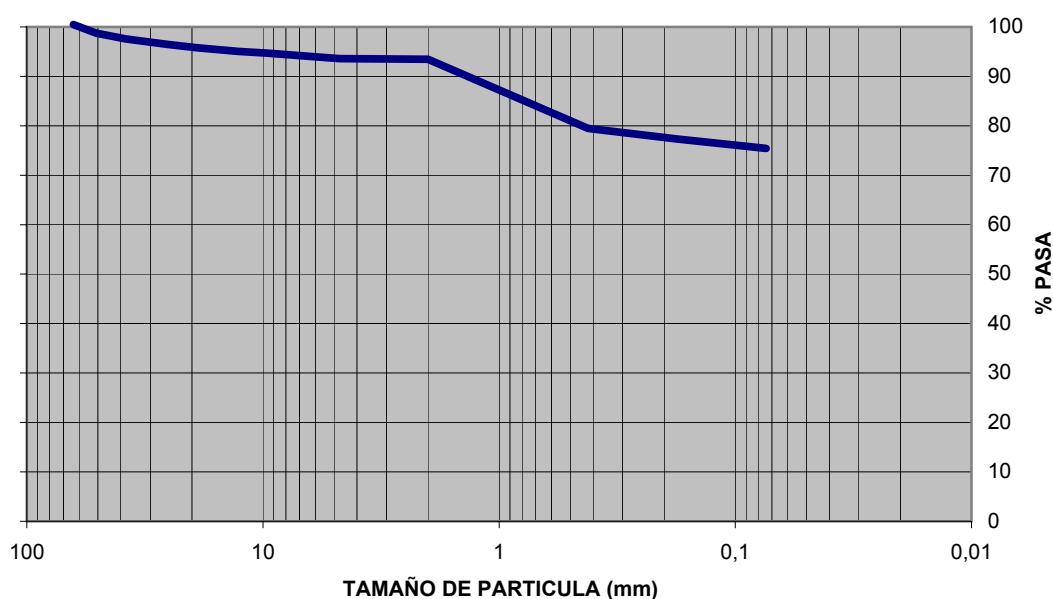
CALICATA: 0

PROFUNDIDAD: 0,00

TIPO DE MUESTRA: MEZCLA

DESCRIPCION: EFECTO SULFATOS SUELO

## ANÁLISIS GRANULOMETRICO



Tamices	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	40	80	200
Apertura(mm)	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,52	6,35	4,75	2	0,42	0,177	0,074
% que pasa	100,5	98,736	97,561	96,48	95,80	95,04	94,69	94,05	93,60	93,47	79,461	77,327	75,42
Tamaños particulares	GRUESAS				FINAS				GRUESA	MEDIA	FINA		
	GRAVAS								ARENAS				

## LÍMITES DE ATTERBERG NLT 105-106

Límite líquido (WL)..... 57,35 %

Límite plástico (WP)..... 32,06 %

Ind. Plasticidad (IP)..... 25,29

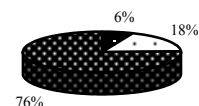
## COMPOSICION GRANULOMETRICA

% Grava..... 6,4

% Arena..... 18,18

% Finos..... 75,42

## Porcentajes



## COMPONENTES SECUNDARIOS

Sulfatos, % SO<sub>4</sub>.....Carbonatos, % CO<sub>3</sub>Ca.....

Materia Organica %.....

## CONDICIONES DE ESTADO

Densidad aparente..... Tn/m<sup>3</sup>

Humedad natural..... %

Densidad seca ..... Tn/m<sup>3</sup>

## CLASIFICACION

Casagrande.....

PG-3.....

## **4.2 Límites de Atterberg**

OBRA: **BOBADILLA**

CLIENTE: 0

CODIGO: 232401

CALICATA: BANDEJA-A

PROFUNDIDAD: SE HAN HECHO LIMITES CON LAS PROBETAS : BANDEJA-A-1,

TIPO DE MUESTRA: BANDEJA-A-2, BANDEJA-A-3, BANDEJA-A-4

DESCRIPCION: 0

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	20
TARA	116,37
TARA+SUELO+AGUA	132,9
TARA+SUELO SECO	126,43
HUMEDAD	64

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	114,24
TARA+SUELO+AGUA	136,66
TARA+SUELO SECO	128,04
HUMEDAD	62

**LIMITE LIQUIDO:****63,54****LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	116,76
TARA+SUELO+AGUA	123,09
TARA+SUELO SECO	121,48
HUMEDAD	34

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	116,82
TARA+SUELO+AGUA	122,29
TARA+SUELO SECO	120,91
HUMEDAD	34

**LIMITE PLASTICO:****33,93****INDICE DE PLASTICIDAD:****29,62**





OBRA: BOBADILLA

CLIENTE: 0

CODIGO: 232401  
CALICATA: BANDEJA-B  
PROFUNDIDAD: SE HAN HECHO LIMITES CON LAS PROBETAS: BANDEJA-B-1,  
TIPO DE MUESTRA: BANDEJA-B-2, BANDEJA-B-3, BANDEJA-B-4  
DESCRIPCION: 0

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	23
TARA	73,29
TARA+SUELO+AGUA	92,34
TARA+SUELO SECO	84,79
HUMEDAD	66

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	73,38
TARA+SUELO+AGUA	89,41
TARA+SUELO SECO	83,41
HUMEDAD	60

**LIMITE LIQUIDO:**

64,36

**LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	73,23
TARA+SUELO+AGUA	79
TARA+SUELO SECO	77,55
HUMEDAD	34

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	73,46
TARA+SUELO+AGUA	80,05
TARA+SUELO SECO	78,4
HUMEDAD	33

**LIMITE PLASTICO:**

33,48

**INDICE DE PLASTICIDAD:**

30,87



OBRA: BOBADILLA

CLIENTE: 0

CODIGO: 232401  
CALICATA: BANDEJA-C  
PROFUNDIDAD: SE HAN HECHO LIMITES CON LAS PROBETAS: BANDEJA-C-1,  
TIPO DE MUESTRA: BANDEJA-C-2, BANDEJA-C-3, BANDEJA-C-4  
DESCRIPCION: 0

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	19
TARA	48,1
TARA+SUELO+AGUA	65,29
TARA+SUELO SECO	58,12
HUMEDAD	72

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	33
TARA	53,78
TARA+SUELO+AGUA	69,76
TARA+SUELO SECO	63,46
HUMEDAD	65

**LIMITE LIQUIDO:**

68,78

**LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	49,52
TARA+SUELO+AGUA	54,93
TARA+SUELO SECO	53,63
HUMEDAD	32

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	48,04
TARA+SUELO+AGUA	53,73
TARA+SUELO SECO	52,36
HUMEDAD	32

**LIMITE PLASTICO:**

31,67

**INDICE DE PLASTICIDAD:**

37,11



OBRA: BOBADILLA

CLIENTE: 0

CODIGO: 232401

CALICATA: BANDEJA-D

PROFUNDIDAD: SE HAN HECHO LIMITES CON LAS PROBETAS: BANDEJA-D-1,

TIPO DE MUESTRA: BANDEJA-D-2, BANDEJA-D-3, BANDEJA-D-4

DESCRIPCION: 0

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	16
TARA	118,42
TARA+SUELO+AGUA	139,63
TARA+SUELO SECO	130,78
HUMEDAD	72

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	33
TARA	118,55
TARA+SUELO+AGUA	135,54
TARA+SUELO SECO	129,11
HUMEDAD	61

**LIMITE LIQUIDO:**

65,93

**LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	116,63
TARA+SUELO+AGUA	122,73
TARA+SUELO SECO	121,23
HUMEDAD	33

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	118,18
TARA+SUELO+AGUA	123,97
TARA+SUELO SECO	122,56
HUMEDAD	32

**LIMITE PLASTICO:**

32,40

**INDICE DE PLASTICIDAD:**

33,53

## **4.3 Miniproctor**



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA:  
SONDEO: BANDEJA-A DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 13/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

## MOLDE PEQUEÑO - MAZA GRANDE

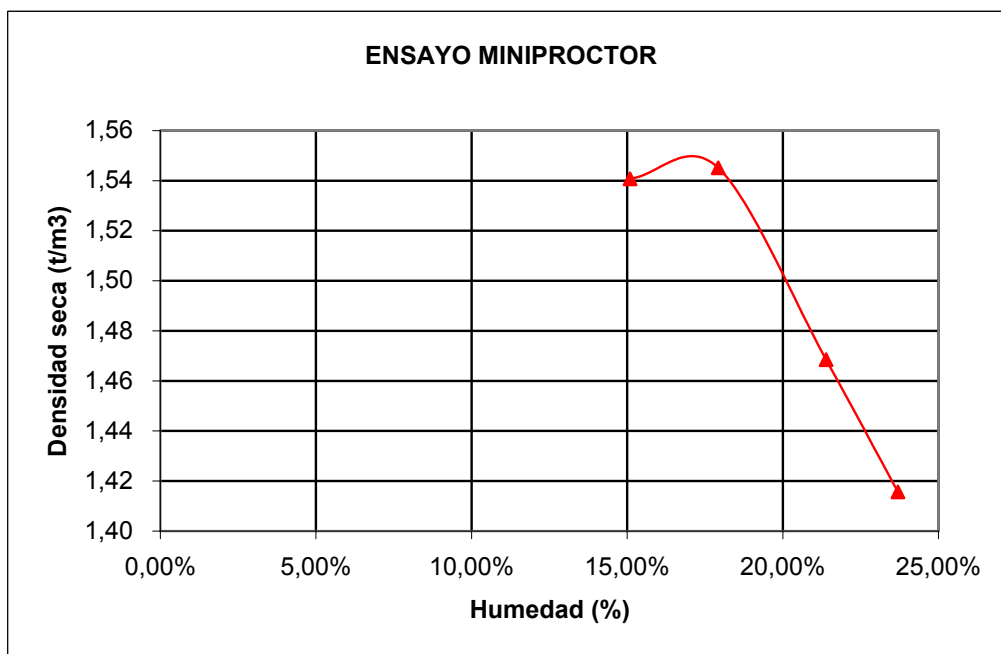
	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
150gr/25cm <sup>3</sup>	1590,9	1743,4	118,67	290,64	268,09	149,42	171,97	15,09%	152,5	132,50	1,54
150gr/30cm <sup>3</sup>	1590,9	1747,6	116,92	293,12	266,34	149,42	176,2	17,92%	156,7	132,88	1,55
150gr/35cm <sup>3</sup>	1590,9	1744,2	118,86	291,85	261,37	142,51	172,99	21,39%	153,3	126,29	1,47
150gr/40cm <sup>3</sup>	1590,9	1741,5	118,67	288,71	256,13	137,46	170,04	23,70%	150,6	121,74	1,42
MUESTRA ANTES											

HUM. MUESTRA 0,00%  
HUM. PROCTOR 17,92%  
DIFERENCIA 17,92%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: BANDEJA-A  
MATERIAL: 0



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 17,92% D. MAX 1,55 t/m3



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA:  
SONDEO: BANDEJA-B DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 13/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

## MOLDE PEQUEÑO - MAZA GRANDE

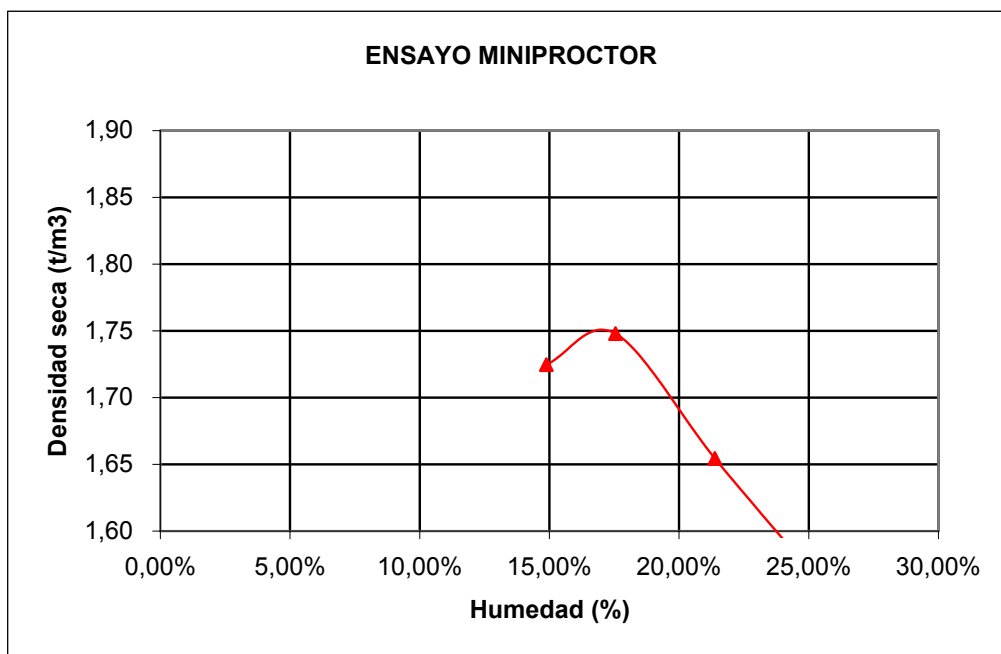
MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
150gr/25cm <sup>3</sup>	1570,9	1741,3	118,21	288,28	266,25	148,04	170,07	14,88%	170,4	148,33	1,72
150gr/30cm <sup>3</sup>	1570,9	1747,6	116,66	293,05	266,72	150,06	176,39	17,55%	176,7	150,32	1,75
150gr/35cm <sup>3</sup>	1570,9	1743,6	118,18	290,42	260,08	141,9	172,24	21,38%	172,7	142,28	1,65
150gr/40cm <sup>3</sup>	1570,9	1739,8	116,62	284,88	251,2	134,58	168,26	25,03%	168,9	135,09	1,57
MUESTRA ANTES											

HUM. MUESTRA 0,00%  
HUM. PROCTOR 17,55%  
DIFERENCIA 17,55%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: BANDEJA-B  
MATERIAL: 0



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 17,55% D. MAX 1,75 t/m3



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA:  
SONDEO: BANDEJA-C DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 13/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

## MOLDE PEQUEÑO - MAZA GRANDE

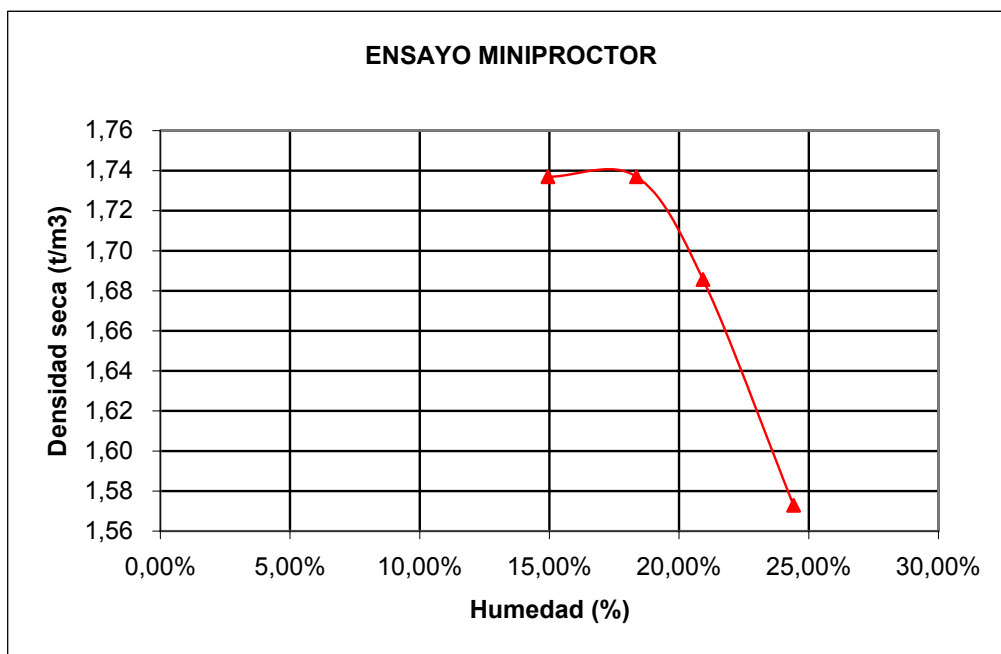
MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
150gr/25cm <sup>3</sup>	1570,9	1742,6	118,55	290	267,71	149,16	171,45	14,94%	171,7	149,38	1,74
150gr/30cm <sup>3</sup>	1570,9	1747,7	118,43	294,78	267,43	149	176,35	18,36%	176,8	149,38	1,74
150gr/35cm <sup>3</sup>	1570,9	1746,2	116,82	291,65	261,4	144,58	174,83	20,92%	175,3	144,97	1,69
150gr/40cm <sup>3</sup>	1570,9	1739,2	116,76	284,6	251,66	134,9	167,84	24,42%	168,3	135,27	1,57
MUESTRA ANTES											

HUM. MUESTRA 0,00%  
HUM. PROCTOR 18,36%  
DIFERENCIA 18,36%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: BANDEJA-C  
MATERIAL: 0



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 18,36% D. MAX 1,74 t/m3



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA:  
SONDEO: BANDEJA-D DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 13/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

## MOLDE PEQUEÑO - MAZA GRANDE

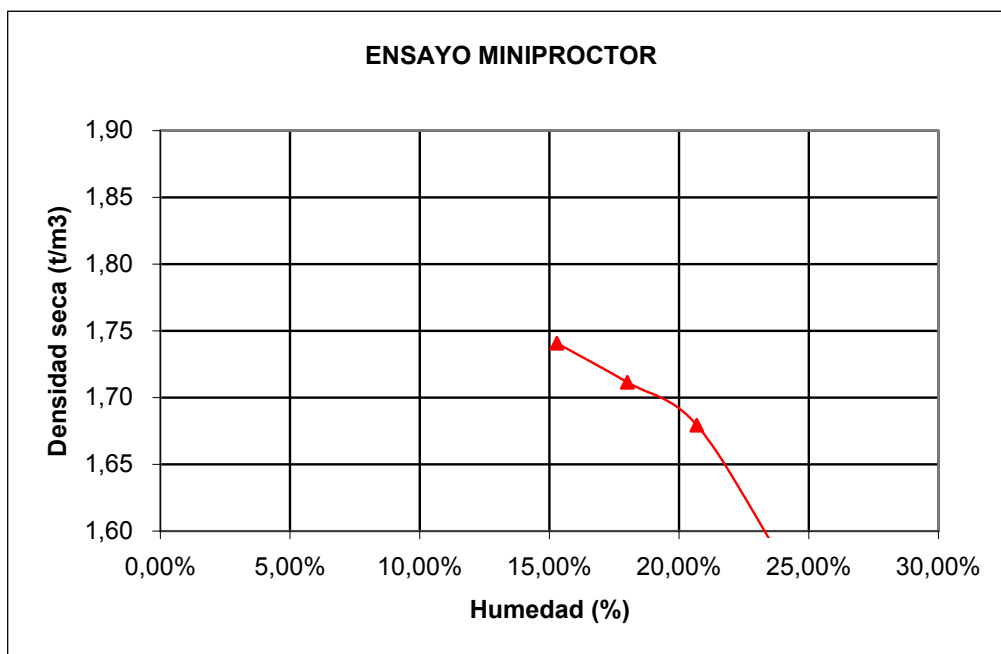
MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
150gr/25cm <sup>3</sup>	1570,9	1743,5	114,25	286,54	263,69	149,44	172,29	15,29%	172,6	149,71	1,74
150gr/30cm <sup>3</sup>	1570,9	1744,6	116,38	289,72	263,27	146,89	173,34	18,01%	173,7	147,20	1,71
150gr/35cm <sup>3</sup>	1570,9	1745,2	116,95	291,01	261,18	144,23	174,06	20,68%	174,3	144,43	1,68
150gr/40cm <sup>3</sup>	1570,9	1739,1	116,64	283,74	251,38	134,74	167,1	24,02%	168,2	135,63	1,58
MUESTRA ANTES											

HUM. MUESTRA 0,00%  
HUM. PROCTOR 15,29%  
DIFERENCIA 15,29%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA  
P.K: BANDEJA-D  
MATERIAL: 0



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 15,29% D. MAX 1,74 t/m3



## **4.4 Preparación de probetas**



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA: EFECTO SULFATOS-SUELO  
SONDEO: BANDEJA-A DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 21/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:  
MINI PROCTOR PEQUEÑO-MAZA GRANDE-5 CAPAS 20 GOLPES

## PROBETAS METIDAS EN CAMARA HUMEDA

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDEJ-A	1000gr.	TERRENO	30gr.CAL	185 cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-A-A	1570,8	1746,8	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	176	149,20	1,73
BAND-A-B	1570,8	1747	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	176,2	149,37	1,74
BAND-A-C	1570,8	1746,9	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	176,1	149,29	1,74
BAND-A-D	1570,8	1748,3	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	177,5	150,47	1,75
BANDEJ-A	1000gr.	TERRENO	60gr.CAL	200 cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-A-E	1570,8	1748	0	1260	1060	1060	1260	18,87%	177,2	149,07	1,73
BAND-A-F	1570,8	1748	0	1260	1060	1060	1260	18,87%	177,2	149,07	1,73
BAND-A-G	1570,8	1748	0	1260	1060	1060	1260	18,87%	177,2	149,07	1,73
BAND-A-H	1570,8	1748,5	0	1260	1060	1060	1260	18,87%	177,7	149,49	1,74
MUESTRA ANTES											

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA: EFECTO SULFATOS - SUELO  
SONDEO: BANDEJA-B DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 21/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

MINI PROCTOR PEQUEÑO - MAZA GRANDE - 5 CAPAS 20 GOLPES

PROBETAS METIDAS EN CAMARA HUMEDA

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDEJ-B	1000 gr.	TERRENO	30gr.CAL	195cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-B-A	1570,8	1747,4	0	1225	1030	1030	1225	18,93%	176,6	148,49	1,73
BAND-B-B	1570,8	1747,7	0	1225	1030	1030	1225	18,93%	176,9	148,74	1,73
BAND-B-C	1570,8	1746,9	0	1225	1030	1030	1225	18,93%	176,1	148,07	1,72
BAND-B-D	1570,8	1747,5	0	1225	1030	1030	1225	18,93%	176,7	148,57	1,73
BANDEJ-B	1000 gr.	TERRENO	60gr.CAL	210cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-B-E	1570,8	1744,3	0	1270	1060	1060	1270	19,81%	173,5	144,81	1,68
BAND-B-F	1570,8	1743,6	0	1270	1060	1060	1270	19,81%	172,8	144,23	1,68
BAND-B-G	1570,8	1744,1	0	1270	1060	1060	1270	19,81%	173,3	144,64	1,68
BAND-B-H	1570,8	1742,2	0	1270	1060	1060	1270	19,81%	171,4	143,06	1,66
MUESTRA ANTES											

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA: EFECTO SULFATOS - SUELO  
SONDEO: BANDEJA-C DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 21/11/2003  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

MINI PROCTOR PEQUEÑO - MAZA GRANDE - 5 CAPAS DE 20 GOLPES

PROBETAS METIDAS EN CAMARA HUMEDA

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDEJ-C	1000gr.	TERRENO	30gr.CAL	185 cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-C-A	1570,8	1745,1	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	174,3	147,76	1,72
BAND-C-B	1570,8	1746,2	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	175,4	148,69	1,73
BAND-C-C	1570,8	1746,6	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	175,8	149,03	1,73
BAND-C-D	1570,8	1744,5	0	1215	1030	1030	1215	17,96%	173,7	147,25	1,71
BANDEJ-C	1000gr.	TERRENO	60gr.CAL	200 cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-C-E	1570,8	1744,2	0	1260	1030	1030	1260	22,33%	173,4	141,75	1,65
BAND-C-F	1570,8	1745,2	0	1260	1030	1030	1260	22,33%	174,4	142,57	1,66
BAND-C-G	1570,8	1744,8	0	1260	1030	1030	1260	22,33%	174	142,24	1,65
BAND-C-H	1570,8	1746,1	0	1260	1030	1030	1260	22,33%	175,3	143,30	1,67
MUESTRA ANTES											

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196



REFERENCIA: 232401 TIPO MUESTRA: EFECTO SULFATOS - SUELO  
SONDEO: BANDEJA-D DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 21//11/03  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

MINI PROCTOR PEQUEÑO - MAZA GRANDE - 5 CAPAS DE 20 GOLPES

PROBETAS METIDAS EN CAMARA HUMEDA

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
BANDEJ-D	1000gr.	TERRENO	30gr.CAL	165cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-D-A	1570,8	1745,1	0	1195	1030	1030	1195	16,02%	174,3	150,23	1,75
BAND-D-B	1570,8	1746,2	0	1195	1030	1030	1195	16,02%	175,4	151,18	1,76
BAND-D-C	1570,8	1746,6	0	1195	1030	1030	1195	16,02%	175,8	151,53	1,76
BAND-D-D	1570,8	1744,5	0	1195	1030	1030	1195	16,02%	173,7	149,72	1,74
BANDEJ-D	1000gr.	TERRENO	60gr.CAL	180cm <sup>a</sup>	AGUA						
BAND-D-E	1570,8	1744,2	0	1240	1030	1030	1240	20,39%	173,4	144,03	1,67
BAND-D-F	1570,8	1745,2	0	1240	1030	1030	1240	20,39%	174,4	144,86	1,68
BAND-D-G	1570,8	1744,8	0	1240	1030	1030	1240	20,39%	174	144,53	1,68
BAND-D-H	1570,8	1746,1	0	1240	1030	1030	1240	20,39%	175,3	145,61	1,69
MUESTRA ANTES											

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196

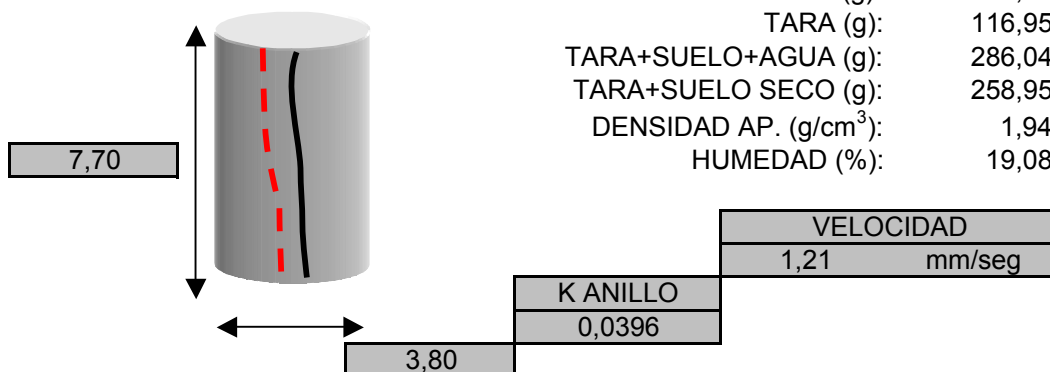
## **4.5 Compresión simple**

#### **4.5.1 Rotura a los 48 días**

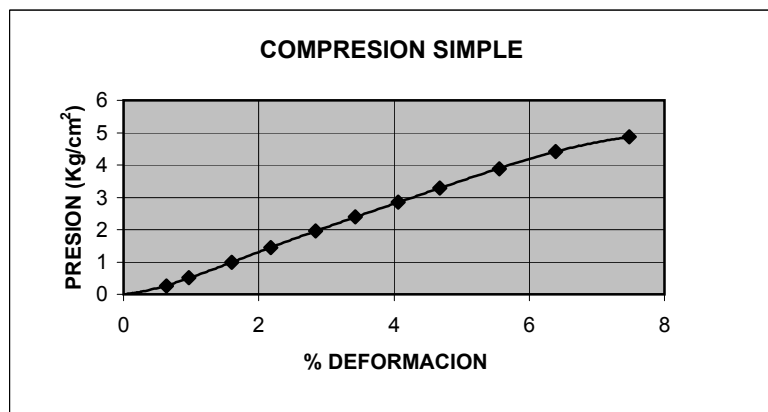
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-A-A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=29/12/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO SULFATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	ECHO EL=21/11/03
<b>CLIENTE:</b>	ROTURA=8/01/04

PESO DE TESTIGO (g):	169,85
TARA (g):	116,95
TARA+SUELO+AGUA (g):	286,04
TARA+SUELO SECO (g):	258,95
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,94
HUMEDAD (%):	19,08

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,86
% DEF	7.48

**OBSERVACIONES:**

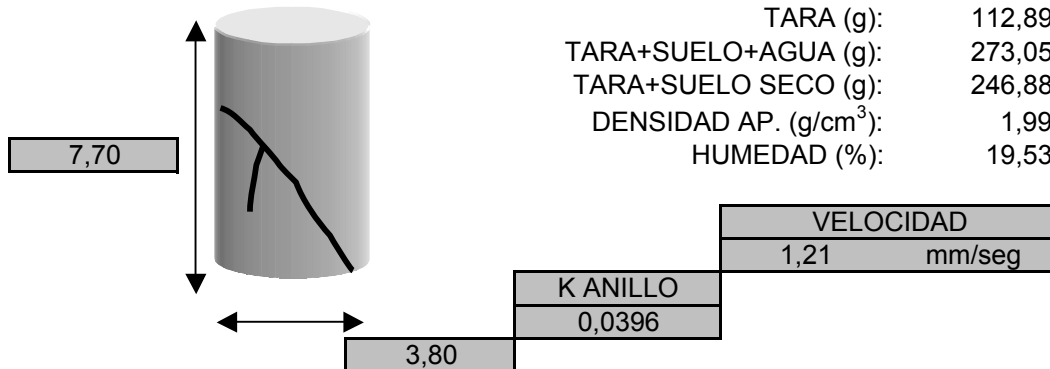


**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-A-E  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:**  
**CLIENTE:**

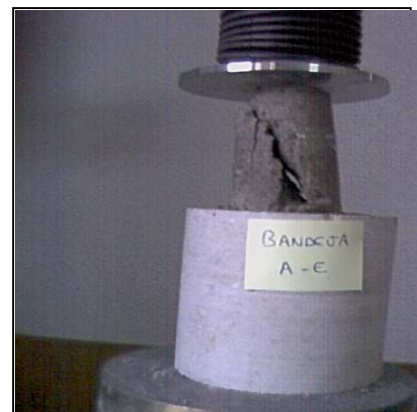
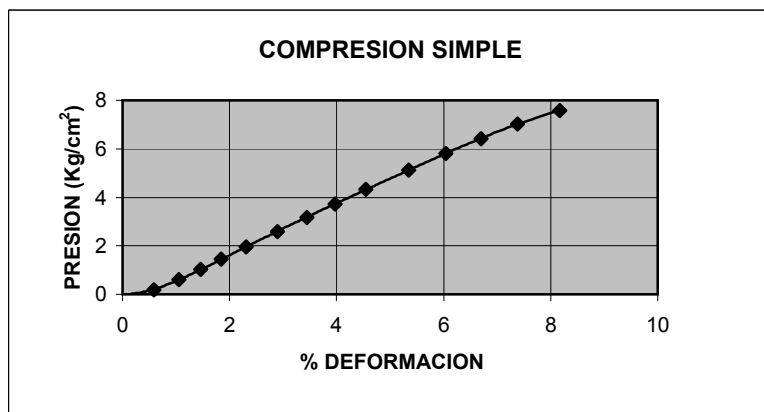
FAX DEL DIA=29/12/03  
 EFECTO SULFATOS-SUELO  
 ECHO EL=21/11/03  
 ROTO EL= 8/01/04

PESO DE TESTIGO (g): 173,35  
 TARA (g): 112,89  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 273,05  
 TARA+SUELO SECO (g): 246,88  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,99  
 HUMEDAD (%): 19,53



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00,00,00	0	0	0		0	
0,20,88	0	105	45	0,18	0,58	
0,30,01	1	149	81	0,61	1,05	
0,52,05	2	185	112	1,02	1,45	
1,08,96	4	25	142	1,44	1,84	
1,28,05	5	120	178	1,96	2,31	
1,51,33	7	86	223	2,59	2,90	
2,10,32	9	17	265	3,17	3,44	
2,29,88	10	135	306	3,73	3,97	
2,52,44	12	85	350	4,34	4,55	
3,21,81	14	140	412	5,13	5,35	
3,46,59	16	125	465	5,80	6,04	
4,12,75	18	74	516	6,41	6,70	
4,36,47	20	28	568	7,03	7,38	
5,01,00	21	140	629	7,58	8,17	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	7,58
% DEF	8,17

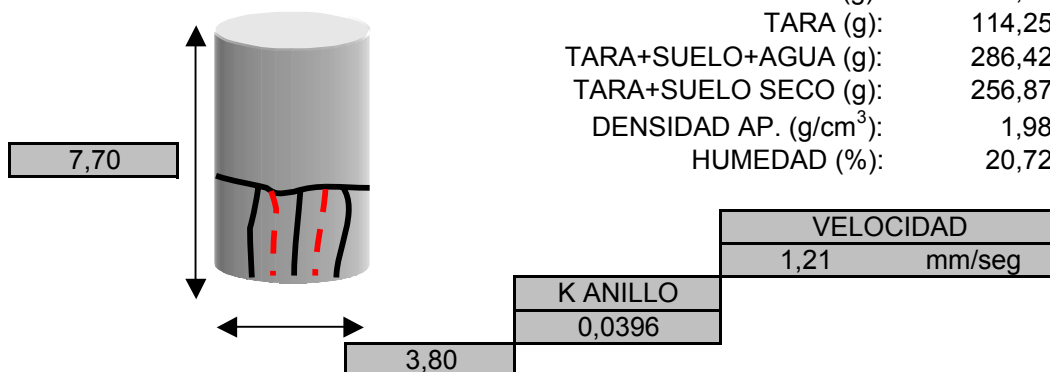


**OBSERVACIONES:**

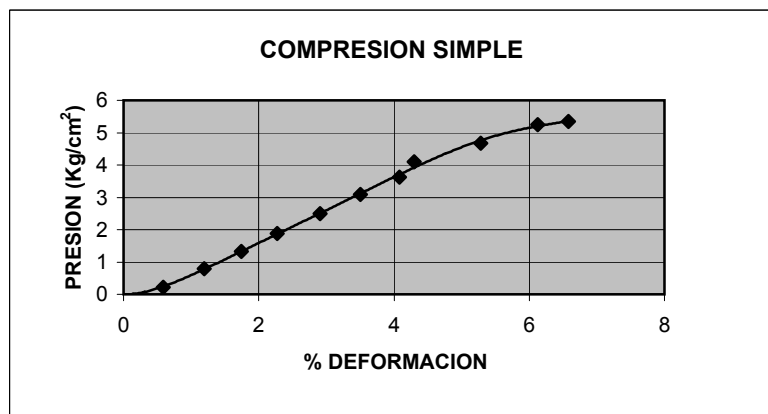
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-B-A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=29/12/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO SULFATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	ECHO EL=21/11/03
<b>CLIENTE:</b>	ROTURA EL=8/01/04

PESO DE TESTIGO (g):	172,66
TARA (g):	114,25
TARA+SUELO+AGUA (g):	286,42
TARA+SUELO SECO (g):	256,87
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,98
HUMEDAD (%):	20,72

[illegible]

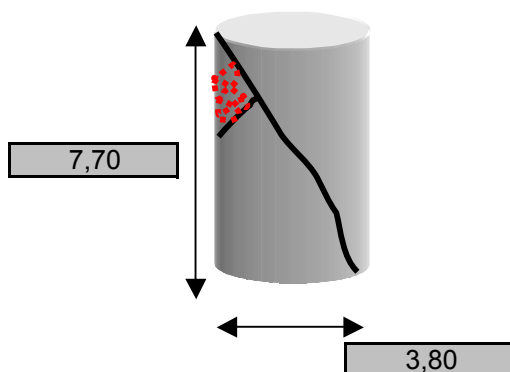
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	5,34
% DEF	6.58

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-B-E  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=29/12/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO SULFATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	ECHO EL=21/11/03
<b>CLIENTE:</b>	ROTURA EL =8/01/04

PESO DE TESTIGO (g):	171
TARA (g):	116,83
TARA+SUELO+AGUA (g):	275,36
TARA+SUELO SECO (g):	245,49
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,96
HUMEDAD (%):	23,22

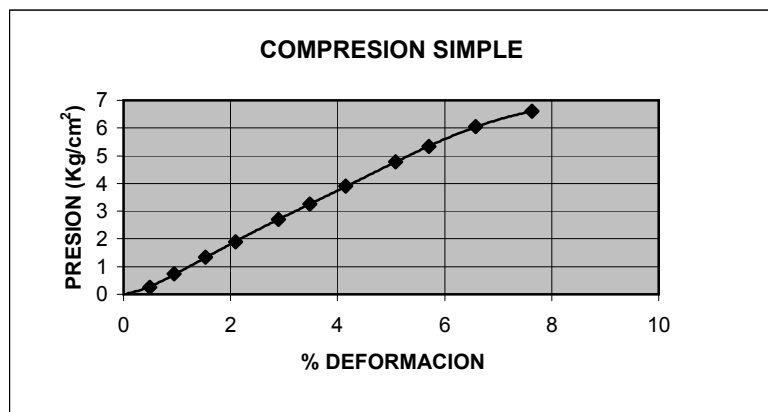


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

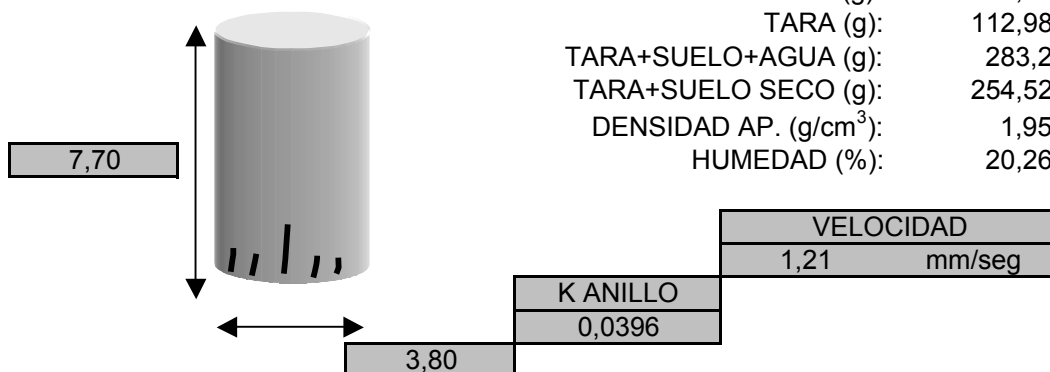
<b>Q<sub>u</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	6,61
<b>% DEF</b>	7.64

**OBSERVACIONES:**

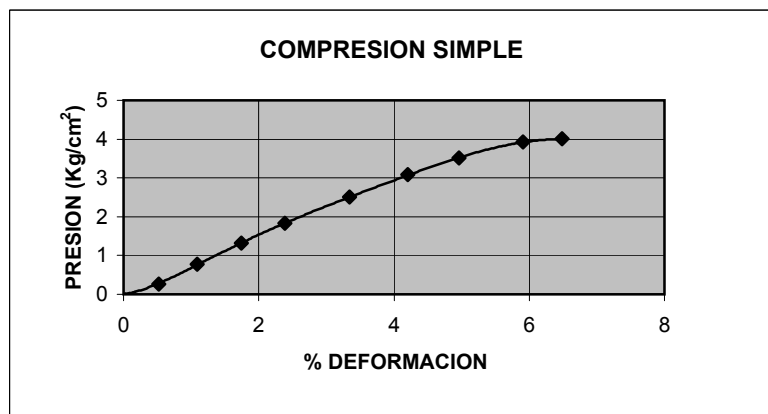
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-C-A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=29/12/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO SULFATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	ECHO EL=21/11/03
<b>CLIENTE:</b>	ROTURA EL=8/01/04

PESO DE TESTIGO (g):	170,29
TARA (g):	112,98
TARA+SUELO+AGUA (g):	283,2
TARA+SUELO SECO (g):	254,52
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,95
HUMEDAD (%):	20,26

[illegible]

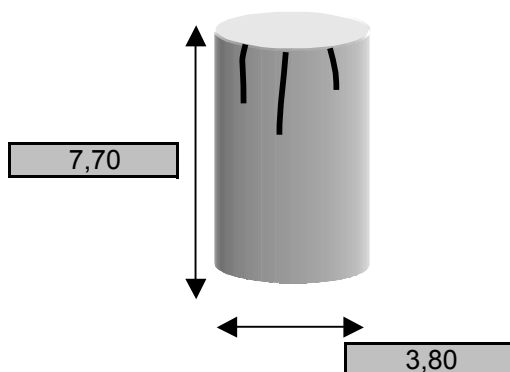
<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4,00
<b>% DEF</b>	6.48

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-C-E  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=29/12/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO SULFATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	ECHO EL=21/11/03
<b>CLIENTE:</b>	ROTURA EL=8/01/04

PESO DE TESTIGO (g):	170,79
TARA (g):	117,88
TARA+SUELO+AGUA (g):	288,5
TARA+SUELO SECO (g):	258,28
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,96
HUMEDAD (%):	21,52

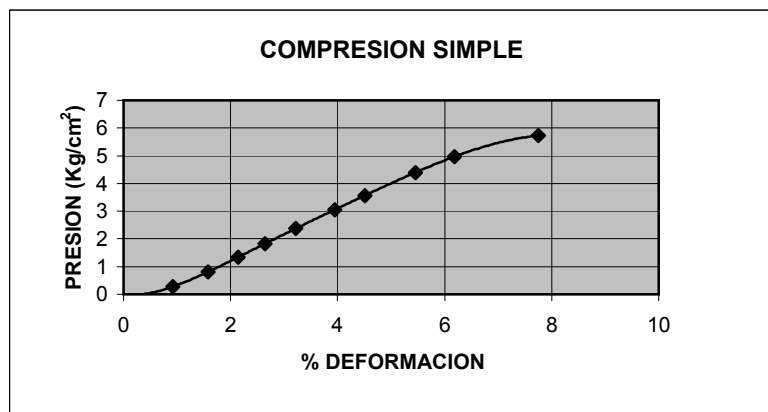


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

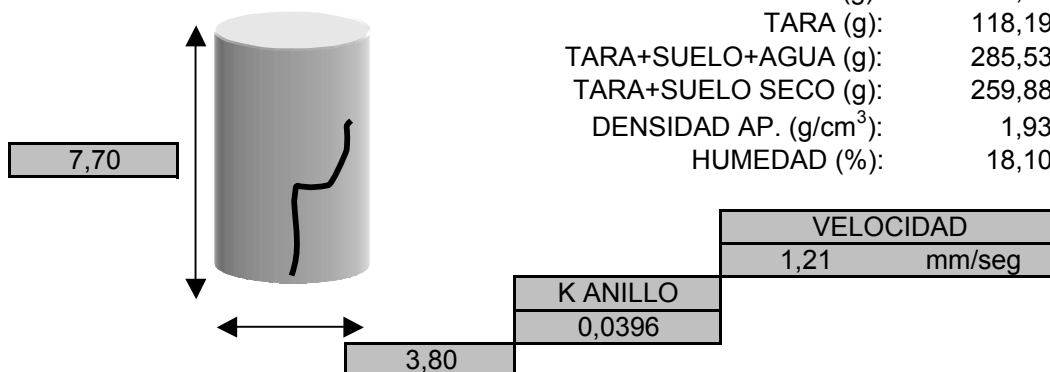
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	5,73
% DEF	7.75

**OBSERVACIONES:**

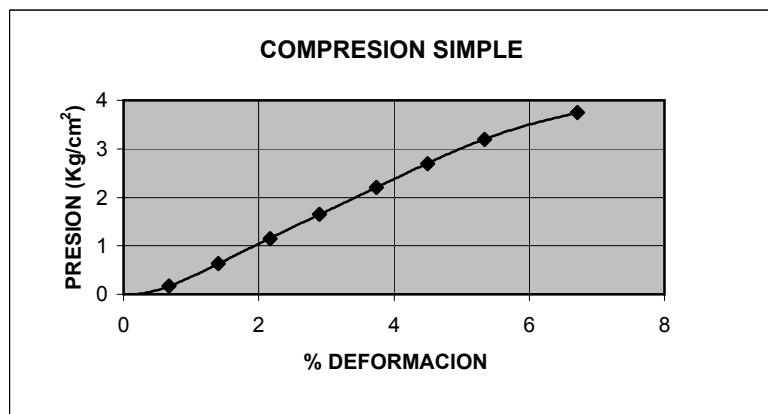
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-D-A  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=29/12/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	EFEECTO SULFATOS-SUELO
<b>FECHA:</b>	ECHO EL=21/11/03
<b>CLIENTE:</b>	ROTURA EL =8/01/04

PESO DE TESTIGO (g):	168,78
TARA (g):	118,19
TARA+SUELO+AGUA (g):	285,53
TARA+SUELO SECO (g):	259,88
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,93
HUMEDAD (%):	18,10

[illegible]

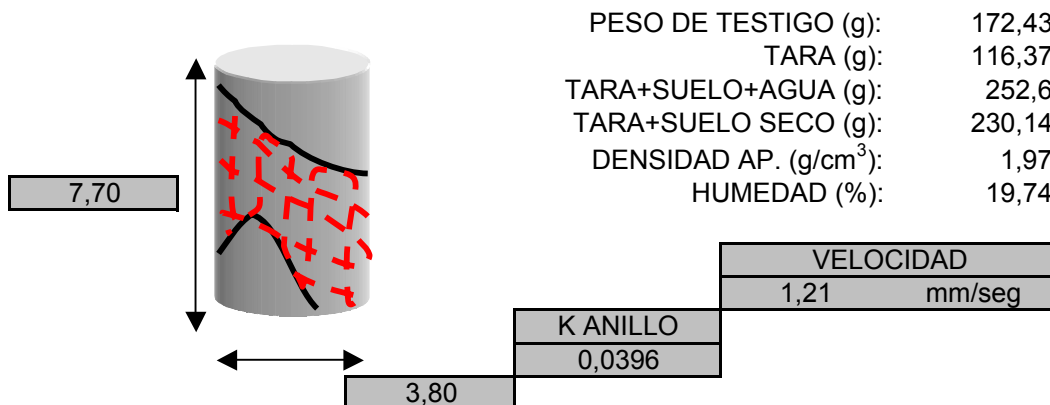
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	3,75
% DEF	6.71

**OBSERVACIONES:**

**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-D-E  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

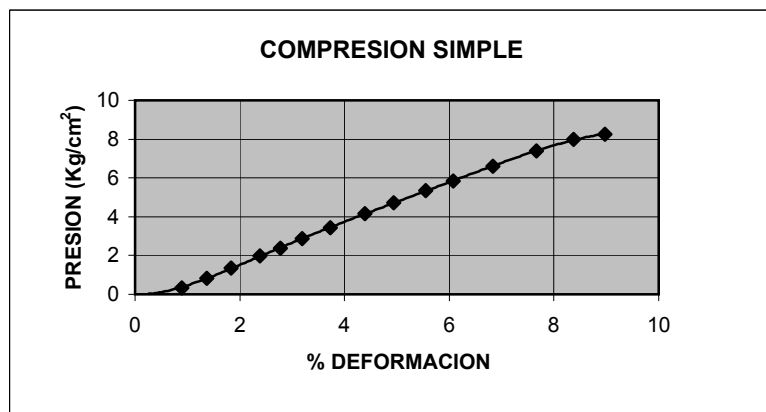
**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:**  
**CLIENTE:**

FAX DEL DIA=29/12/03  
 EFECTO SULFATOS-SUELO  
 ECHO EL =21/11/03  
 ROTURA EL=8/01/04



TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0		0	
0,32,38	0	195	69	0,34	0,90	
0,49,79	2	74	105	0,83	1,36	
1,07,54	3	178	141	1,36	1,83	
1,28,57	5	130	184	1,97	2,39	
1,43,60	6	170	214	2,39	2,78	
1,59,88	8	40	246	2,86	3,19	
2,01,57	9	160	287	3,42	3,73	
2,26,98	11	180	338	4,16	4,39	
2,46,45	13	100	380	4,71	4,94	
3,08,13	15	60	427	5,34	5,55	
3,26,38	16	155	468	5,86	6,08	
3,54,37	18	180	526	6,60	6,83	
4,24,15	21	30	590	7,38	7,66	
4,48,58	22	170	645	7,98	8,38	
5,06,95	23	130	691	8,26	8,97	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	8,26
% DEF	8,97



**OBSERVACIONES:**

### **4.5.2 Rotura a los 356 días**

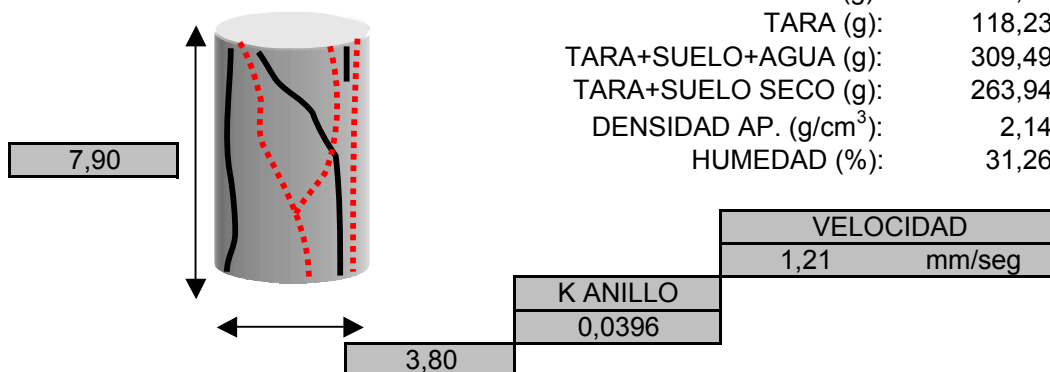




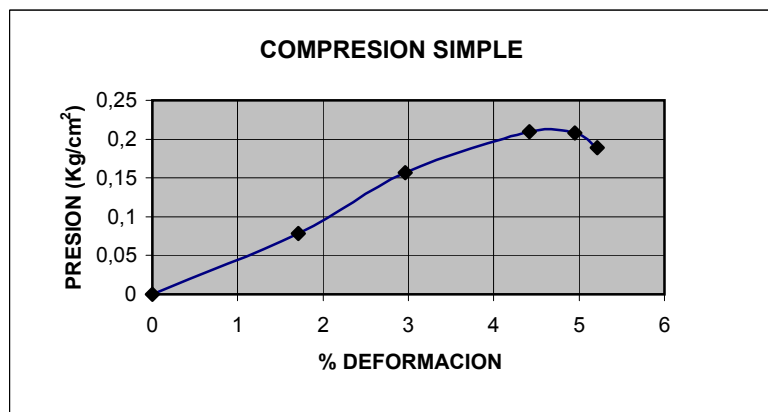
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-A-F  
**PROFUNDIDAD:** MEZCLA  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SUFATOS SUELO
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	FAX DEL DÍA 11/11/03
<b>FECHA:</b>	21/11/03-11/11/04
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	191,44
TARA (g):	118,23
TARA+SUELO+AGUA (g):	309,49
TARA+SUELO SECO (g):	263,94
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	2,14
HUMEDAD (%):	31,26



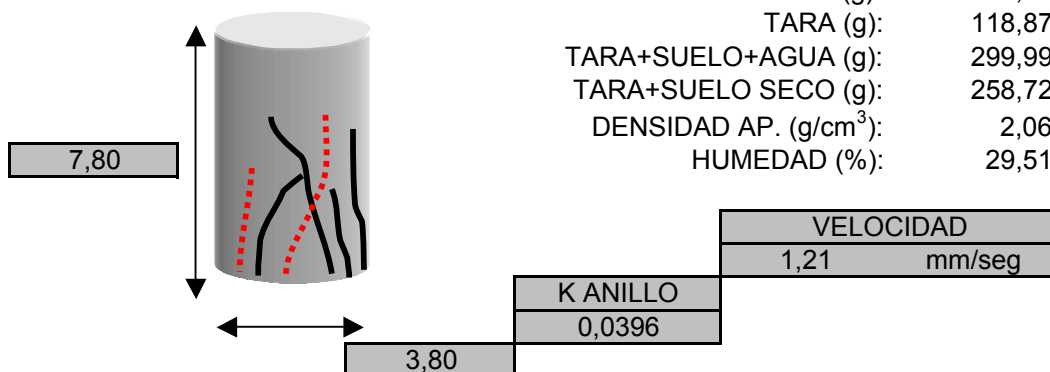
<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,21
<b>% DEF</b>	4.42

**OBSERVACIONES:**

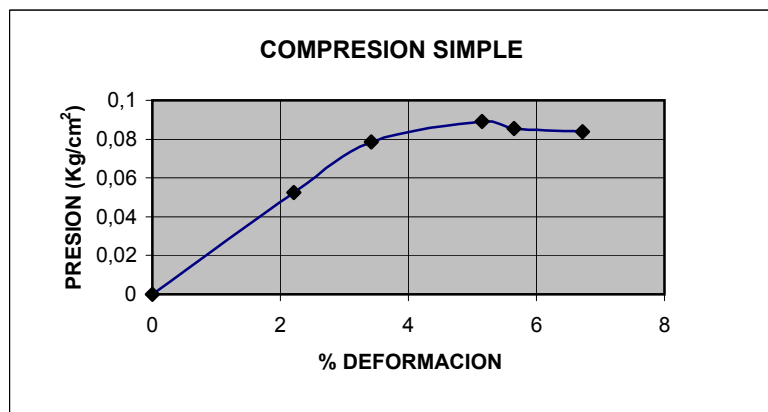
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-B-B  
**PROFUNDIDAD:** MEZCLA  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS SUELO
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	FAX DEL DÍA 11/11/03
<b>FECHA:</b>	21/11/03-11/11/04
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	181,89
TARA (g):	118,87
TARA+SUELO+AGUA (g):	299,99
TARA+SUELO SECO (g):	258,72
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	2,06
HUMEDAD (%):	29,51

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,09
<b>% DEF</b>	5.15

**OBSERVACIONES:**

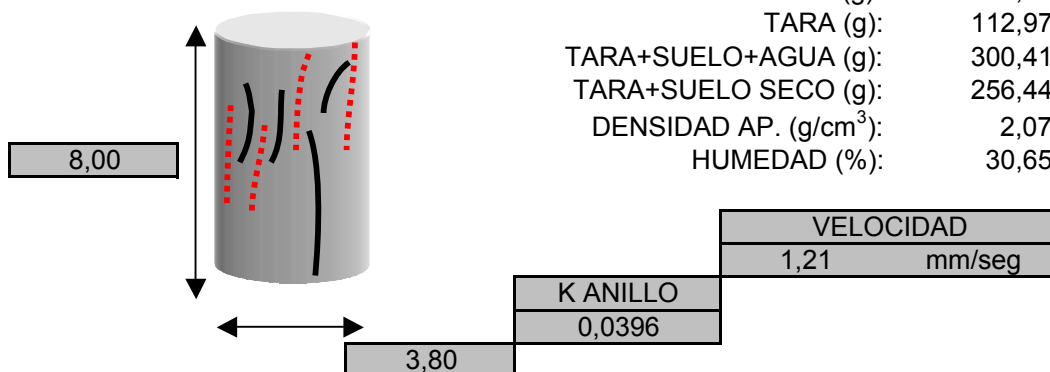




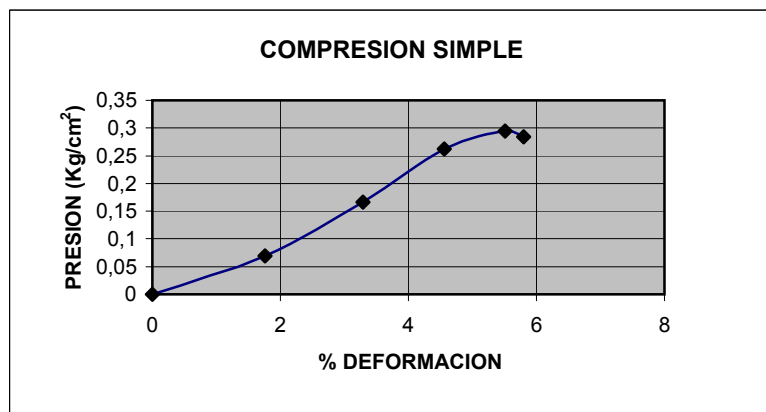
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-C-F  
**PROFUNDIDAD:** MEZCLA  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS SUELO
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	FAX DEL DÍA 11/11/03
<b>FECHA:</b>	21/11/03-11/11/04
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	187,54
TARA (g):	112,97
TARA+SUELO+AGUA (g):	300,41
TARA+SUELO SECO (g):	256,44
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	2,07
HUMEDAD (%):	30,65

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,30
<b>% DEF</b>	5.51

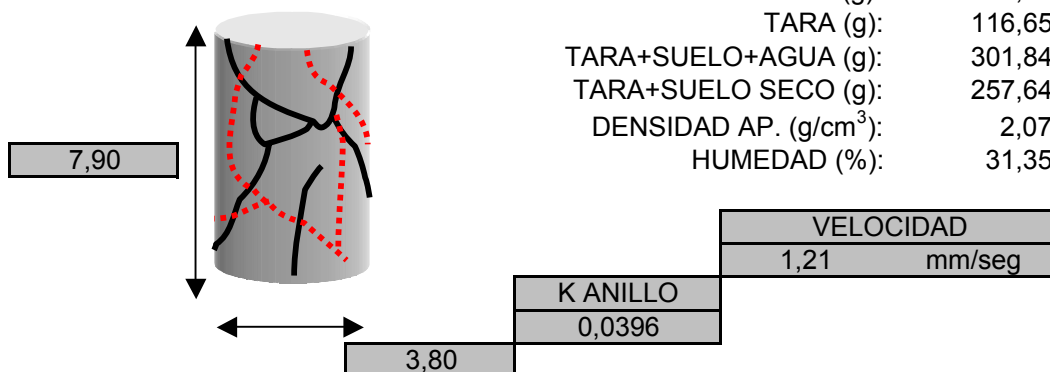
**OBSERVACIONES:**



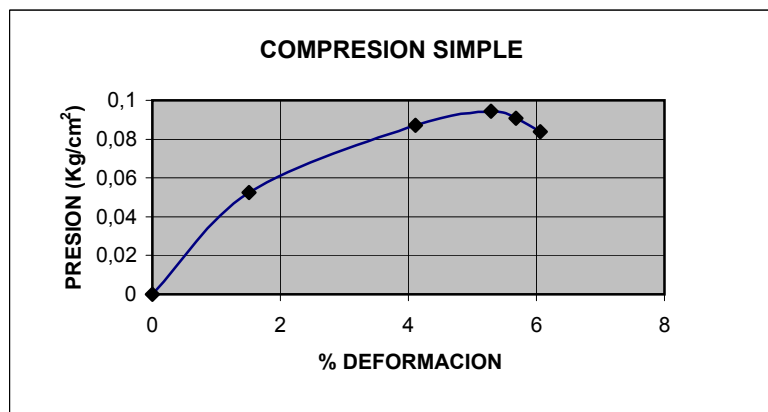
**REFERENCIA:** 232401  
**CALICATA:** BANDEJA-D-F  
**PROFUNDIDAD:** MEZCLA  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO SULFATOS SUELO
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	FAX DEL DÍA 11/11/03
<b>FECHA:</b>	21/11/03-11/11/04
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	185,44
TARA (g):	116,65
TARA+SUELO+AGUA (g):	301,84
TARA+SUELO SECO (g):	257,64
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	2,07
HUMEDAD (%):	31,35

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,09
% DEF	5.68

**OBSERVACIONES:**



### **4.5.3 Rotura a los 909 días**



**TIPO MUESTRA:** BANDJ-B-C  
**DESCRIPCIÓN:** SULFATOS SUELOS  
**FECHA:** 21/11/2003-18/05/2006  
**CLIENTE:**

A diagram of a cylinder. A vertical double-headed arrow to the left of the cylinder is labeled with a box containing the number 7,90. A horizontal double-headed arrow below the cylinder is labeled with a box containing the number 1,00. The cylinder's surface is marked with several curved lines, some solid black and some dashed red.

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,21
% DEF	4,59

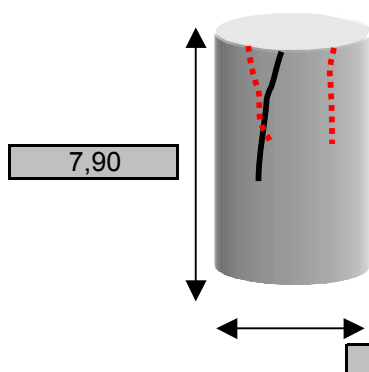
**OBSERVACIONES:**



**REFERENCIA:** 232401  
**SONDEO:**  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA: BAND-B-H**  
**DESCRIPCIÓN: SULFATOS SUELOS**  
**FECHA:** 21/11/2003-18/05/2006  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	178,91
TARA (g):	113
TARA+SUELO+AGUA (g):	291,5
TARA+SUELO SECO (g):	251,47
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,90
HUMEDAD (%):	28,91

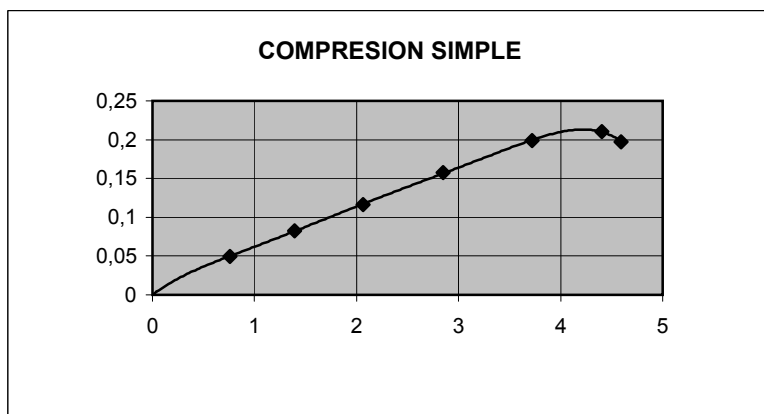


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,21
% DEF	4,41

**OBSERVACIONES:**





## **5. PERÍODO DE MADURACIÓN**



## **5.1 Límites de Atterberg**

**OBRA:** FFCC BOBADILLA-RONDA**CLIENTE:****CODIGO:** 232001**CALICATA:****PROFUNDIDAD:** 0,00**TIPO DE MUESTRA:****DESCRIPCION:** MEZCLA**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	17
TARA	73,22
TARA+SUELO+AGUA	95,53
TARA+SUELO SECO	86,16
HUMEDAD	72

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	73,29
TARA+SUELO+AGUA	97,21
TARA+SUELO SECO	88,02
HUMEDAD	62

**LIMITE LIQUIDO:****67,07****LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	73,46
TARA+SUELO+AGUA	79,75
TARA+SUELO SECO	77,55
HUMEDAD	54

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	73,42
TARA+SUELO+AGUA	79,45
TARA+SUELO SECO	77,77
HUMEDAD	39

**LIMITE PLASTICO:****46,21****INDICE DE PLASTICIDAD:****20,86**

**OBRA:** BOBADILLA - RONDA**CLIENTE:**

**CODIGO:** 232001 - A  
**CALICATA:** 0  
**PROFUNDIDAD:** 0,00  
**TIPO DE MUESTRA:** MUESTRA DESPUES DE HABER HECHO PROBETAS  
**DESCRIPCION:** 0

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	19
TARA	112,89
TARA+SUELO+AGUA	131,43
TARA+SUELO SECO	124,4
HUMEDAD	61

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	116,76
TARA+SUELO+AGUA	136,31
TARA+SUELO SECO	129,42
HUMEDAD	54

**LIMITE LIQUIDO:**

58,01

**LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	116,55
TARA+SUELO+AGUA	121,9
TARA+SUELO SECO	120,29
HUMEDAD	43

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	118,55
TARA+SUELO+AGUA	123,55
TARA+SUELO SECO	122,05
HUMEDAD	43

**LIMITE PLASTICO:**

42,95

**INDICE DE PLASTICIDAD:**

15,05

OBRA: *BOBADILLA - RONDA*

CLIENTE:

CODIGO: 232001  
CALICATA: BANDEJA - B  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: MUESTRA DESPUES DE HABER HECHO PROBETAS  
DESCRIPCION:

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	17
TARA	112,88
TARA+SUELO+AGUA	130,5
TARA+SUELO SECO	123,78
HUMEDAD	62

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	28
TARA	114,25
TARA+SUELO+AGUA	132,75
TARA+SUELO SECO	126,01
HUMEDAD	57

**LIMITE LIQUIDO:****58,50****LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	116,76
TARA+SUELO+AGUA	122,39
TARA+SUELO SECO	120,78
HUMEDAD	40

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	116,36
TARA+SUELO+AGUA	122,61
TARA+SUELO SECO	120,86
HUMEDAD	39

**LIMITE PLASTICO:****39,47****INDICE DE PLASTICIDAD:****19,03**

OBRA: *BOBADILLA - RONDA*

CLIENTE:

CODIGO: 232001  
CALICATA: BANDEJA - C  
PROFUNDIDAD: 0,00  
TIPO DE MUESTRA: LIMITES ANTES DE HACER PROBETAS  
DESCRIPCION: 17/10/2003

**LIMITE LIQUIDO**

1ª DETERMINACIÓN DE 15 A 25 GOLPES	
GOLPES	17
TARA	118,54
TARA+SUELO+AGUA	145,19
TARA+SUELO SECO	135,2
HUMEDAD	60

2ª DETERMINACIÓN DE 25 A 35 GOLPES	
GOLPES	32
TARA	114,25
TARA+SUELO+AGUA	140,71
TARA+SUELO SECO	131,36
HUMEDAD	55

**LIMITE LIQUIDO:****57,13****LIMITE PLASTICO**

1ª DETERMINACIÓN	
TARA	47,23
TARA+SUELO+AGUA	52,49
TARA+SUELO SECO	51,04
HUMEDAD	38

2ª DETERMINACIÓN	
TARA	73,23
TARA+SUELO+AGUA	78,97
TARA+SUELO SECO	77,4
HUMEDAD	38

**LIMITE PLASTICO:****37,85****INDICE DE PLASTICIDAD:****19,27**

## **5.2 Miniproctor**



REFERENCIA: 232001 TIPO MUESTRA:  
SONDEO: DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 08/10/2003  
OBRA: BOBADILLA-RONDA CLIENTE:

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD	
200/40cm³	1570,9	1724	112,99	265,74	233,16	120,17	152,75	27,11%	153,1	120,45	1,40	232001-1
200/50cm³	1570,9	1732	118,42	279,21	240,87	122,45	160,79	31,31%	161,1	122,69	1,43	232001-2
200/60cm³	1570,9	1728,6	116,66	274,07	232,1	115,44	157,41	36,36%	157,7	115,65	1,34	232001-3
200/80cm³	1570,9	1718,8	118,43	265,32	217,67	99,24	146,89	48,01%	147,9	99,92	1,16	232001-4
MUESTRA ANTES												

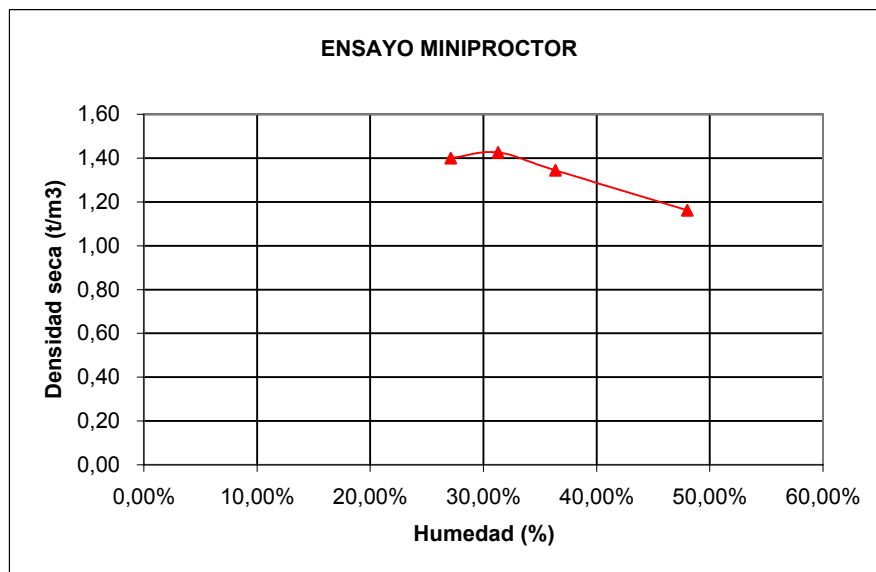
NOTA: Despues de haber hecho las probetas quedan 4 bandejas con 1450 cada una

HUM. MUESTRA 0,00%  
HUM. PROCTOR 31,31%  
DIFERENCIA 31,31%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLA-RONDA  
P.K: 0  
MATERIAL: 0



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 31,31% D. MAX 1,43 t/m3

### **5.3 Preparación de probetas**





REFERENCIA: 232001 TIPO MUESTRA:  
SONDEO: BANDEJA-A DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: VIERNES 10/10/03  
OBRA: BOBADILLA-RONDA CLIENTE:  
MINI PROCTOR GRANDE - MAZA GRANDE - 5 CAPAS - 20 GOLPES

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
360gr/12cm³	2131	2459,1	0	380	368	368	380	3,26%	328,1	317,74	1,62
360gr/12cm³	2131	2453,2	0	380	368	368	380	3,26%	322,2	312,03	1,59
360gr/12cm³	2131	2455,4	0	380	368	368	380	3,26%	324,4	314,16	1,60
MUESTRA ANTES											

BANDEJA - A = CADA PROBETA TIENE 8 gr. CAL Y 12 cm³ DE AGUA

SE HA HECHO LIMITES

VOLUMEN MOLDE:	
196	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196

NOTA= Las probetas se han dejado 3 días en un taper en estufa y luego sacadas a la  
camara humeda y con un testigo se hace: BANDEJA - A - I = CR , PH, EDO

BANDEJA-A-I  
BANDEJA-A-II  
BANDEJA-A-III



REFERENCIA: 232001 TIPO MUESTRA: 1450 gr. DE TERRENO  
SONDEO: BANDEJA - B DESCRIPCIÓN: 450 cm³ DE AGUA  
PROFUNDIDAD: FECHA: 10/10/2003 29 gr. DE CAL  
OBRA: BOBADILLA - RONDA CLIENTE:  
MINI PROCTOR GRANDE - MAZA GRANDE - 5 CAPAS - 20 GOLPES

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
B-I	2131	2491,2	0	1929	1479	1479	1929	30,43%	360,2	276,17	1,41
B-II	2131	2489,5	0	1929	1479	1479	1929	30,43%	358,5	274,87	1,40
B-III	2131	2489	0	1929	1479	1479	1929	30,43%	358	274,49	1,40
MUESTRA ANTES											

BANDEJA-B-I  
BANDEJA-B-II  
BANDEJA-B-III

DESPUES DE HACER LAS PROBETAS HEMOS HECHO LIMITES

VOLUMEN MOLDE:	
196	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196

NOTA: Se han dejado 3 dias taper estufa, sacar y hacer = PH , CR , EDO



REFERENCIA: 232001 TIPO MUESTRA: 1450 gr.DE TERRENO  
SONDEO: BANDEJA - C DESCRIPCIÓN: 15 gr. CAL  
PROFUNDIDAD: FECHA: 16/10/2003 225 cm³ AGUA  
OBRA: BOBADILLA - RONDA CLIENTE: Dejar camara humeda hanta el jueves y volver  
a añadir 15 gr.CAL y 225 cm³ AGUA Y  
MINI PROCTOR GRANDE - MAZA GRANDE - 5 CAPAS - 20 GOLPES HACER LAS 3 PROBETAS

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
C - I	2131	2484,6	0	1930	1480	1480	1930	30,41%	353,6	271,15	1,38
C - II	2131	2486,2	0	1930	1480	1480	1930	30,41%	355,2	272,38	1,39
C - III	2131	2486,9	0	1930	1480	1480	1930	30,41%	355,9	272,92	1,39
MUESTRA ANTES											

BANDEJA-C-I  
BANDEJA-C-II  
BANDEJA-C-III

DESPUES DE HACER LAS PROBETAS HEMOS HECHO LIMITES

VOLUMEN MOLDE:	
196	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196

NOTA= Se han dejado 3 dias taper estufa, sacar y hacer= CR , PH , EDO

## **5.4 Corte rápido 1 punto**



REFERENCIA: 232001 TIPO MUESTRA: DESPUES DE HABER HECHO PROBETA  
CALICATA: BANDEJA - A - I DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 13/10/2003  
OBRA: BOBADILLA - RONDA CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	77,47	30,07	38,82%	148,89	60,38	88,51	1,50	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1096		1,25	0,00
		INUND.	1022		1,25	0,00
180	0		911		1,25	0,76



**REFERENCIA:** 232001      **TIPO MUESTRA:** HECHO EL CORTE DESPUES DE HABER HECHO PROBETA  
**CALICATA:** BANDEJA - B - I      **DESCRIPCIÓN:**  
**PROFUNDIDAD:**      **FECHA:** 16/10/2003  
**OBRA:** BOBADILLA - RONDA      **CLIENTE:**

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
TARA	T+S+A	T+S	82,95	29,42	35,47%	172,2	60,38	111,82	1,90	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1102		1,25	0,00
		INUND.	1002		1,25	0,00
37	0,2		935		1,25	1,00



REFERENCIA: 232001

CALICATA: BANDEJA-A-II

PROFUNDIDAD:

OBRA: BOBADILLA

TIPO MUESTRA:

DESCRIPCIÓN:

FECHA: 10/11/2003

CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
118,43	223,9	193,26	74,83	30,61	40,91%	149,46	63,95	85,51	1,45	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1112		1,25	0,00
		INUND.	1029		1,25	0,00
193	0		868		1,25	0,82



REFERENCIA: 232001  
CALICATA: BANDEJA-B-II  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 13/11/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
118,35	230,2	200,25	81,9	29,97	36,59%	174,99	63,96	111,03	1,88	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1145		1,25	0,00
		INUND.	1043		1,25	0,00
43	0,2		949		1,25	1,03





REFERENCIA: 232001  
CALICATA: BANDEJA-C-II  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 23/11/2003  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
116,54	228,7	198,93	82,39	29,79	36,16%	176,17	63,94	112,23	1,91	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1120		1,25	0,00
		INUND.	1012		1,25	0,00
36	0,2		948		1,25	1,00



REFERENCIA: 232001  
CALICATA: BANDEJA-A III  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 12/01/2004  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
116,63	213,5	187,23	70,6	26,25	37,18%	141,81	60,39	81,42	1,38	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1153		1,25	0,00
		INUND.	1026		1,25	0,00
168	0		853		1,25	0,71



REFERENCIA: 232001  
CALICATA: BANDEJA-BIII  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

TIPO MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 13/01/2004  
CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
118,42	228,8	203,51	85,09	25,29	29,72%	173,27	63,93	109,34	1,86	20	4,5

ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1225		1,25	0,00
		INUND.	1140		1,25	0,00
45	0,2		1032		1,25	1,04



REFERENCIA: 232001      TIPO MUESTRA: HECHO DESPUES DE LA PROBETA  
CALICATA: BANDEJA-CIII      DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD:      FECHA: 25/01/2004  
OBRA: BOBADILLA      CLIENTE:

MUESTRA 1			SUELO	AGUA	W. FINAL	S+A+TAL.	TALLAD.	S+A	DENSIDAD	CARGA	CARG.FIJA
116,76	228,9	201,44	84,68	27,45	32,42%	171,82	60,34	111,48	1,89	20	4,5

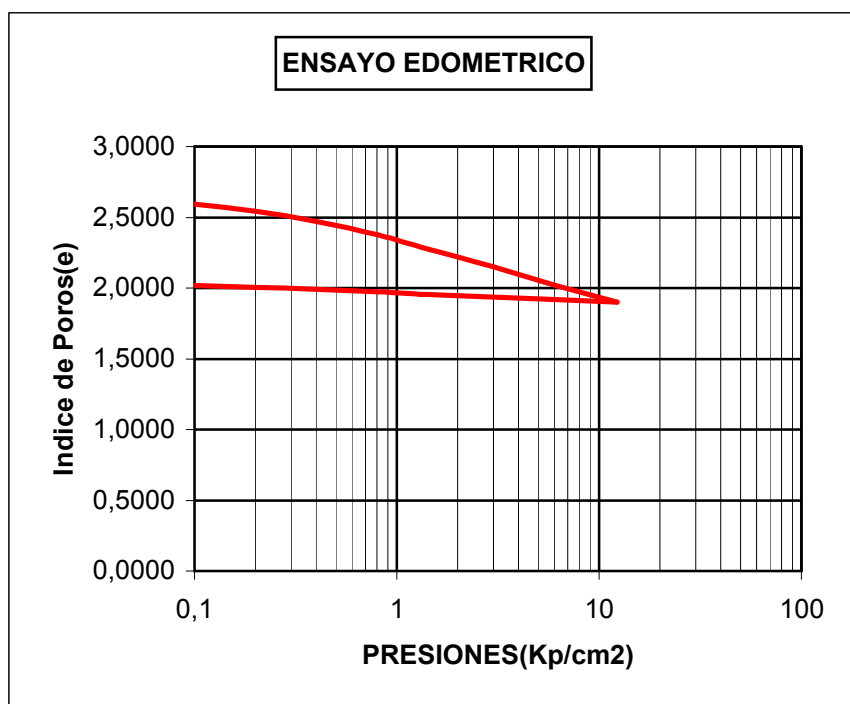
ANILLO						
GRANDE	PEQUEÑO	OBSERV.	DESP.VER	DESP.HOR.	TENSION V.	TENSION H.
		CARGA	1288		1,25	0,00
		INUND.	1184		1,25	0,00
40	0,2		1098		1,25	1,02

## **5.5 Edómetro**



OBRA: BOBADILLA-RONDA  
CODIGO: 232201-BANDEJA AI  
CATA:  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 1,06 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 0,80 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 31,42 %  
INDICE POROS INICIAL: 2,2350  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



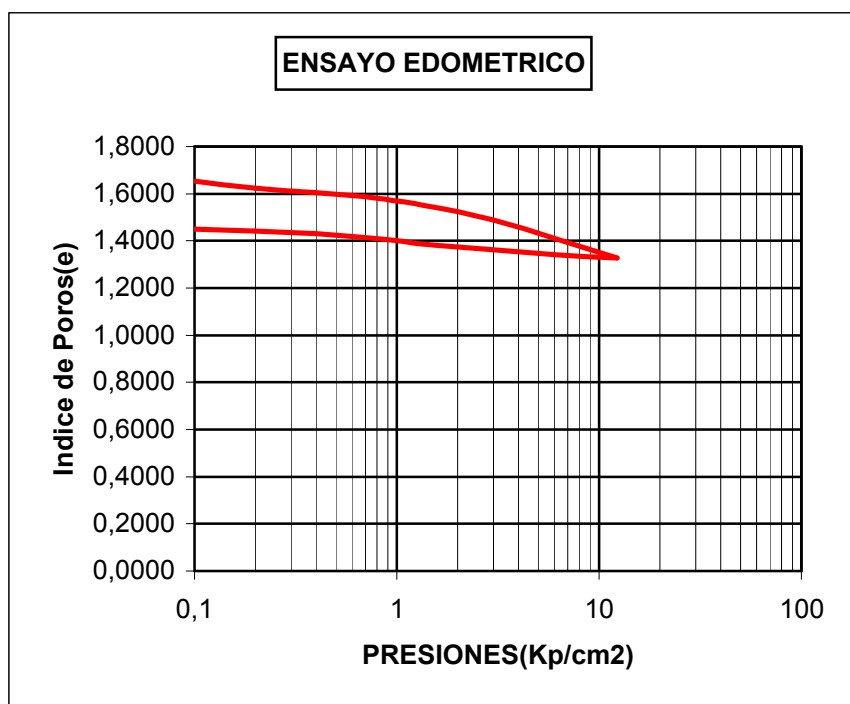
IND.COMPRES.(Cc): 0,4045

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0595



OBRA: BOBADILLA-RONDA  
CODIGO: 232001-BANDEJA-BI  
CATA:  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 1,34 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 1,00 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 33,29 %  
INDICE POROS INICIAL: 1,5875  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



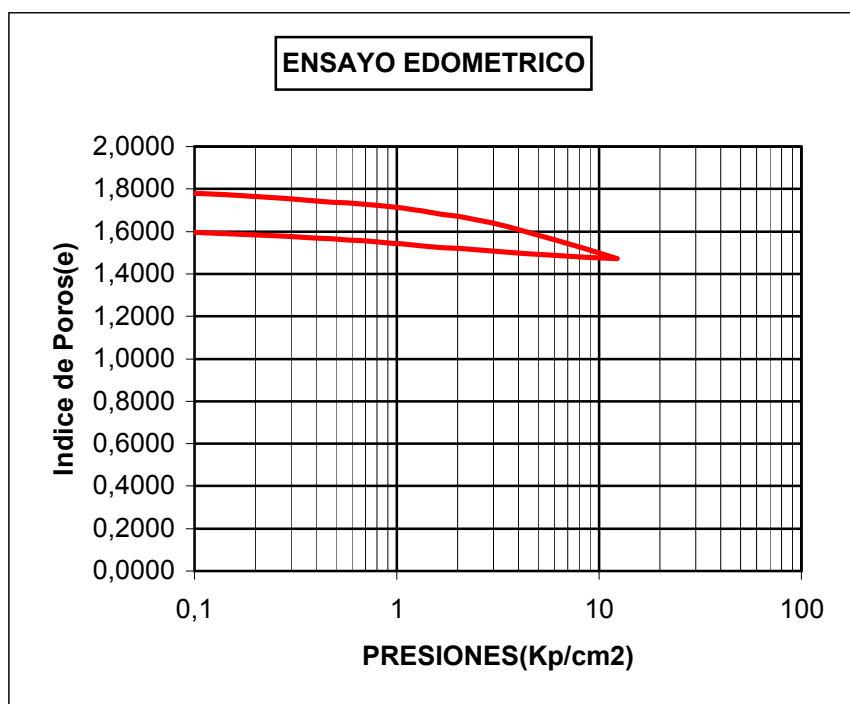
IND.COMPRES.(Cc): 0,2351

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0630



OBRA: BOBADILLA-RONDA  
CODIGO: 232201-BANDEJA CI  
CATA:  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 1,27 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 0,95 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 33,48 %  
INDICE POROS INICIAL: 1,7294  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



IND.COMPRES.(Cc): 0,2355

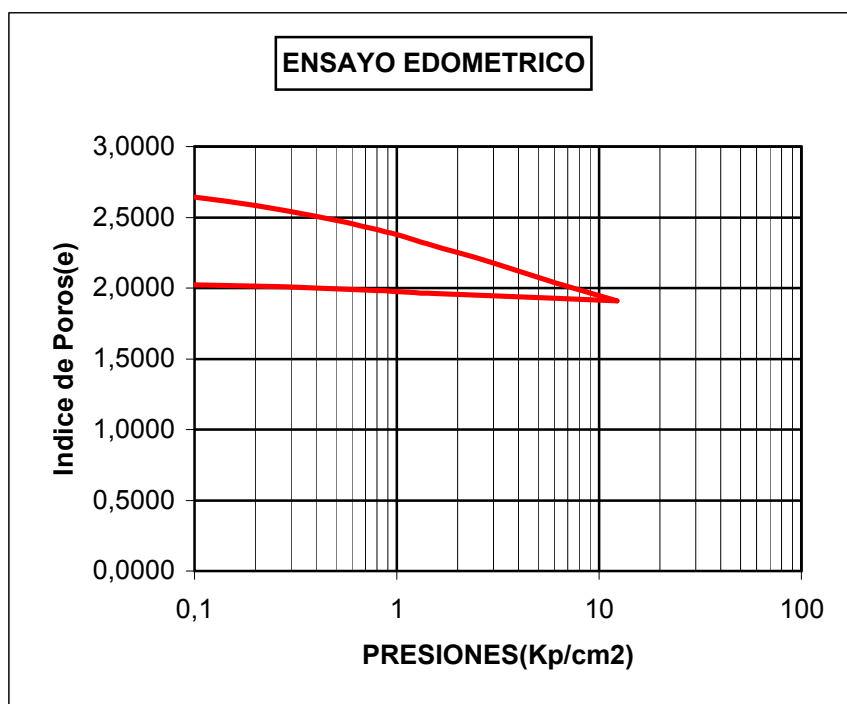
IND.HINCHAM.(Cs): 0,0602





OBRA: BOBADILLA  
CODIGO: 232001  
CATA: BANDEJA-A-II  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 1,03 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 0,78 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 32,03 %  
INDICE POROS INICIAL: 2,3411  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



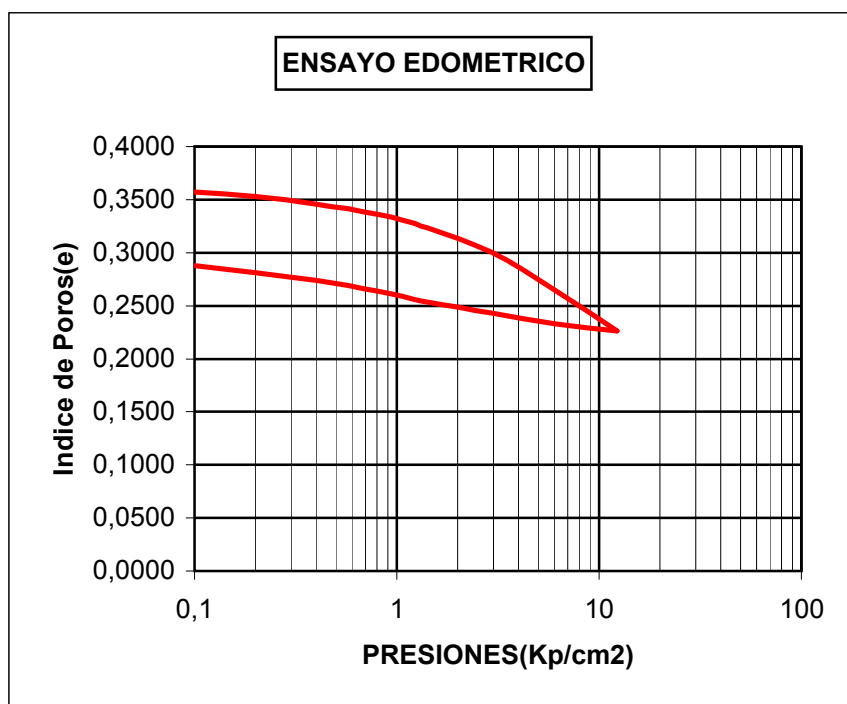
IND.COMPRES.(Cc): 0,4307

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0572



OBRA: BOBADILLA RONDA  
CODIGO: 232001  
CATA: BANDEJA B-II  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 2,61 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 1,95 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 34,00 %  
INDICE POROS INICIAL: 0,3335  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



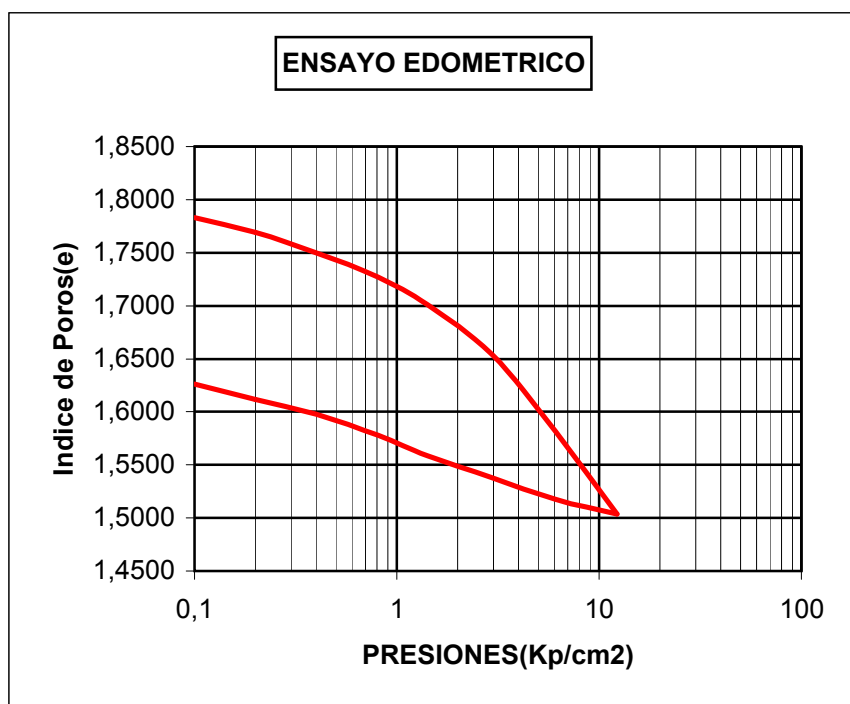
IND.COMPRES.(Cc): 0,1036

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0290



OBRA: BOBADILLA RONDA  
CODIGO: 232001  
CATA: BANDEJA C-II  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 1,29 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 0,95 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 35,67 %  
INDICE POROS INICIAL: 1,7325  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



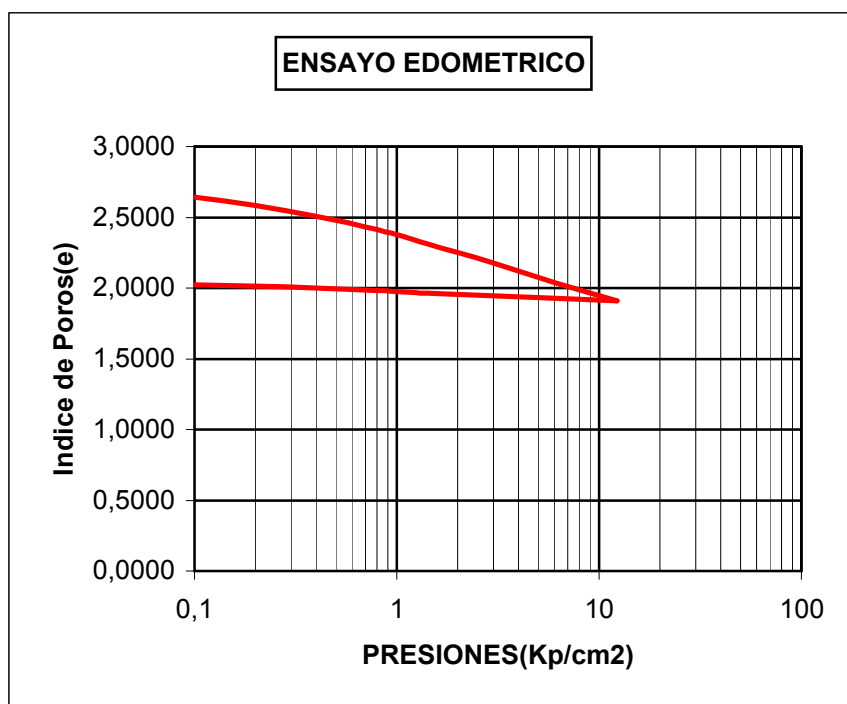
IND.COMPRES.(Cc): 0,2112

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0588



OBRA: BOBADILLA  
CODIGO: 232001  
CATA: BANDEJA-A-II  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 1,03 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 0,78 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 32,03 %  
INDICE POROS INICIAL: 2,3411  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



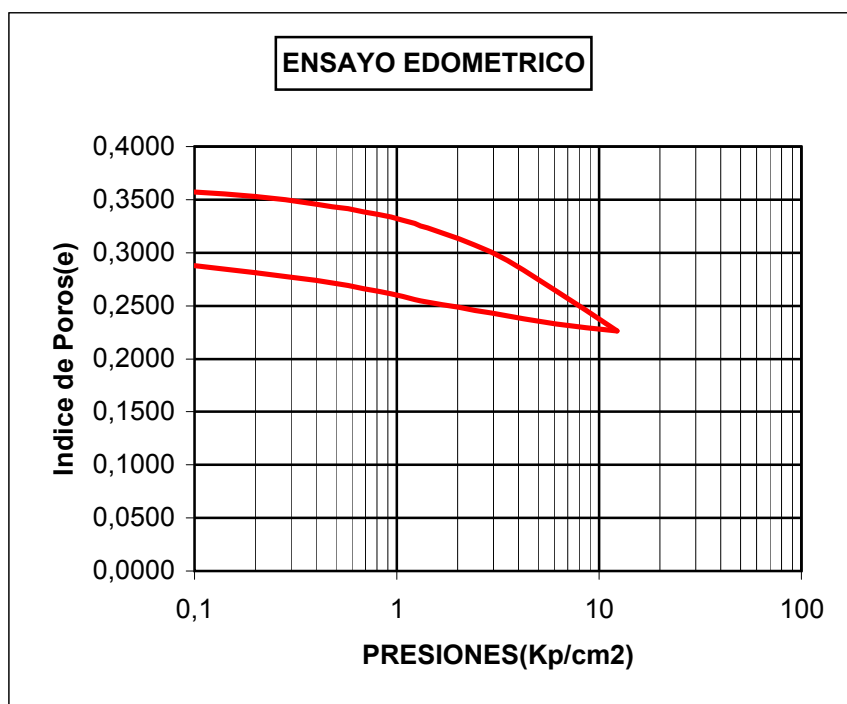
IND.COMPRES.(Cc): 0,4307

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0572



OBRA: BOBADILLA RONDA  
CODIGO: 232001  
CATA: BANDEJA B-II  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 2,61 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 1,95 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 34,00 %  
INDICE POROS INICIAL: 0,3335  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



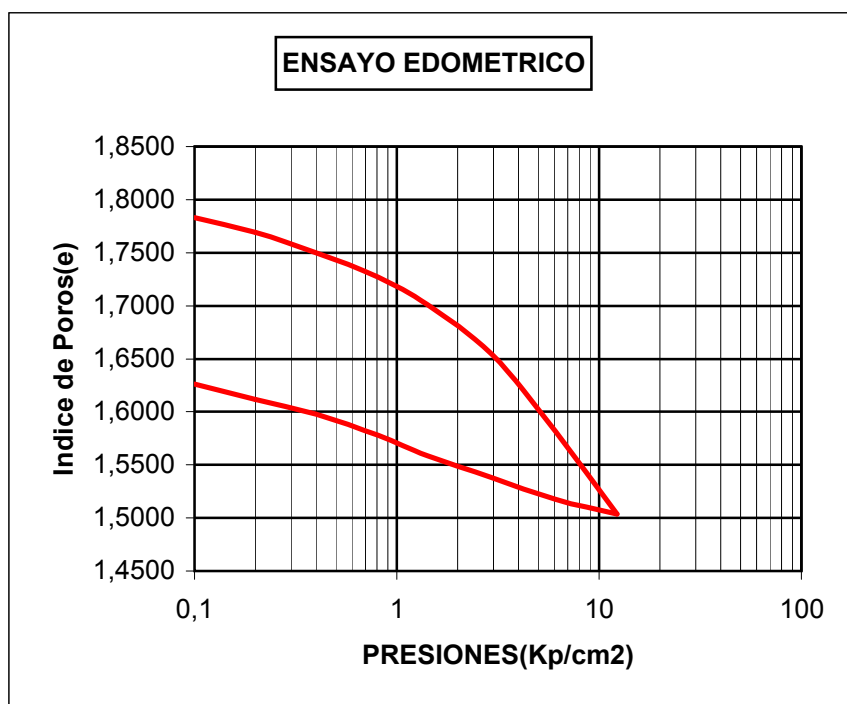
IND.COMPRES.(Cc): 0,1036

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0290



OBRA: BOBADILLA RONDA  
CODIGO: 232001  
CATA: BANDEJA C-II  
PROFUNDIDAD:

DENSIDAD AP. INICIAL: 1,29 t/m<sup>3</sup>  
DENSIDAD SECA INICIAL: 0,95 t/m<sup>3</sup>  
HUMEDAD INICIAL: 35,67 %  
INDICE POROS INICIAL: 1,7325  
PESO ESP. PARTICULAS: 2,60 t/m<sup>3</sup>



IND.COMPRES.(Cc): 0,2112

IND.HINCHAM.(Cs): 0,0588

## **5.6 Presión de hinchamiento**



REFERENCIA: 232001  
SONDEO: BANDEJA - A - I  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA - RONDA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 13/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	194,81	135,52	59,29

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,55	T+S+W	190,45	T+S	171,14
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,51			HUM.FINAL	36,72%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
13/10/2003	11h 15m	555	0	0,00	0,00%	INUNDO
	13h 40m	555	2250	0,92	0,00%	DESCARGA
14/10/2003	8h 00m	636	0	0,00	4,05%	

PRESION DE HINCHAMIENTO

0,92kp/cm2

HUMEDAD FINAL

36,72%

DENSIDAD APARENTE

1,51 g/cm3





REFERENCIA: 232001  
SONDEO: BANDEJA - B - I  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA - RONDA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 16/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	207,23	135,52	71,71

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,85	T+S+W	192,57	T+S	172,57
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,83			HUM.FINAL	37,23%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
16/10/2003	9h00m	616	0	0,00	0,00%	INUNDO
	11h40m	616	1000	0,41	0,00%	DESCARGA
17/10/2003	8h00m	681	0	0,00	3,25%	

PRESION DE HINCHAMIENTO

0,41kp/cm2

HUMEDAD FINAL

37,23%

DENSIDAD APARENTE

1,83 g/cm3



REFERENCIA: 232010  
SONDEO: BANDEJA-CI  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA-RONDA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 22/10/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	210,09	135,81	74,28

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	112,98	T+S+W	189,21	T+S	168,2
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,89			HUM.FINAL	38,05%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
22/10/2003	8h 20m	710,25	0	0,00	0,00%	INUNDO
	12h 23m	710,25	500	0,20	0,00%	DESCARGA
23/10/2003	8h 00m	785,75	0	0,00	3,78%	

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,20 kp/cm2  
38,05%  
1,89 g/cm3



REFERENCIA: 232001  
SONDEO: BANDEJA-A-II  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

MUESTRA: MUESTRA MUY SECA  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 10/11/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	192,76	135,8	56,96

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,85	T+S+W	189,13	T+S	169,82
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,45			HUM.FINAL	37,89%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
10/11/2003	8h35m	682	0	0,00	0,00%	INUNDO
	9h20m	682	2250	0,92	0,00%	DESCARGA
11/11/2003	8h00m	756	0	0,00	3,70%	

PRESION DE HINCHAMIENTO

*0,92 Kp/cm<sup>2</sup>*

HUMEDAD FINAL

*37,89%*

DENSIDAD APARENTE

*1,45 g/cm<sup>3</sup>*



REFERENCIA: 2320,1  
SONDEO: BANDEJA-B-II  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 13/11/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	209,44	135,8	73,64

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	116,55	T+S+W	192,6	T+S	171,27
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,88			HUM.FINAL	38,98%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
13/11/2003	8h 15m	665	0	0,00	0,00%	INUNDO
	11h 20m	665	1000	0,41	0,00%	DESCARGA
14/11/2003	8h 00m	776	0	0,00	5,55%	

PRESION DE HINCHAMIENTO

0,41kp/cm2

HUMEDAD FINAL

38,98%

DENSIDAD APARENTE

1,88 g/cm3



REFERENCIA: 232001  
SONDEO: BANDEJA-C-II  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 19/11/2003  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	208,88	135,53	73,35

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,67	T+S+W	193,93	T+S	173,36
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,87			HUM.FINAL	37,61%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
19/11/2003	8h.25m.	722	0	0,00	0,00%	INUNDO
	14h.00m.	722	250	0,10	0,00%	DESCARGA
20/11/2003	8h.00m.	786	0	0,00	3,20%	

PRESION DE HINCHAMIENTO

0,10kp/cm2

HUMEDAD FINAL

37,61%

DENSIDAD APARENTE

1,87 g/cm3



REFERENCIA: 232001  
SONDEO: BANDEJA -AIII  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 12/01/2004  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	193,47	135,81	57,66

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,55	T+S+W	190,44	T+S	170,51
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,47			HUM.FINAL	38,36%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
12/01/2004	8h,30m	624		0,00	0,00%	INUNDO
	11h,30m	624	1250	0,51	0,00%	DESCARGA
13/01/2004	8h,00Mm	709		0,00	4,25%	

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

*0,51kp/cm2*  
*38,36%*  
*1,47 g/cm3*



REFERENCIA: 232001  
SONDEO: BANDEJA-CIII  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 21/01/2004  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	209,26	135,52	73,74

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,87	T+S+W	194,06	T+S	173,86
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,88			HUM.FINAL	36,73%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
21/01/2004	8h,30m	551,5		0,00	0,00%	INUNDO
	13h,25m	551,5	1000	0,41	0,00%	DESCARGA
22/01/2004		624,75		0,00	3,66%	

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,41kp/cm2  
36,73%  
1,88 g/cm3



REFERENCIA: 232001  
SONDEO: BANDEJA -BIII  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA

MUESTRA:  
DESCRIPCIÓN:  
FECHA: 13/01/2004  
CLIENTE:

	PESO	TARA	TOTAL
INICIAL	209,32	135,8	73,52

DETERMINACION DE DENSIDAD Y HUMEDAD					
TARA	118,42	T+S+W	193,43	T+S	174,03
DIAM. (cm)	5	AREA (cm <sup>2</sup> )	19,625	VOL. (cm <sup>3</sup> )	39,25
DENS.APAR (t/m <sup>3</sup> )	1,87			HUM.FINAL	34,89%

FECHA	HORA	COMPARADOR (mm*100)	CARGA gr.	TENSION Kg/cm2	HINCHAMIENTO (%)	OBSER.
				0,00		INICIAL
13/01/2004	8h,20m	663		0,00	0,00%	INUNDO
	12h,20m	663	1000	0,41	0,00%	DESCARGA
14/01/2004	8h,00m	779,5		0,00	5,83%	

PRESION DE HINCHAMIENTO  
HUMEDAD FINAL  
DENSIDAD APARENTE

0,41kp/cm2  
34,89%  
1,87 g/cm3



## **6. SULFATOS**

TRABAJO Nº: 03594

PETICIONARIO: Empresa: EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A.  
Domicilio: Pasaje de Bisbal, nº 6, 3º  
28028-(MADRID)  
At: D. Javier Castanedo

DENOMINACIÓN: Obra: BOBADILLA  
Situación: No la aporta el cliente

TIPO DE MUESTRA: SUELO

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: Fecha: 17/11/2003  
Entregada por el peticionario en el laboratorio de CEPASA

ENSAYOS SOLICITADOS :

Sulfatos solubles (UNE 103201)

OBRA Nº: 03594

PETICIONARIO: EPSA

DENOMINACIÓN: BOBADILLA

21/11/03

**DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE SULFATOS**  
**(UNE 103201)**

MUESTRA	COTAS	TIPO MUESTRA	SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)
232401 A B		BOLSA	2,0579
232401 B A		BOLSA	1,1044
232401 C		BOLSA	2,9497
232401 D		BOLSA	6,4894

OBRA Nº : 03594

PETICIONARIO : E.P.S.A

DENOMINACIÓN : BOBADILLA

21/11/03

**ANÁLISIS AGUA****REFERENCIA MUESTRA: M-1**

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN Ó VALOR
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	190,0


Este informe consta de tres páginas selladas y numeradas correlativamente de la una a la tres.

Fuenlabrada, 21 de Noviembre de 2.003

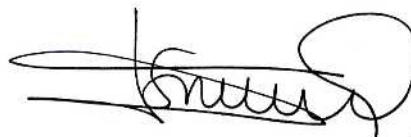
Por la sección de Mecánica de Suelos



Fdo: D. Fco. Cruz Valencia  
Director Gerente



Fdo: Dña. Mª Esther Garcés Cámara  
Director Técnico Laboratorio



Fdo: D. Ismael García Cotta  
Jefe de Área

**CEPASA ENSAYOS GEOTÉCNICOS, S.A.**

C/ Nicolás Copérnico nº 12 – Polígono Industrial Codeín, Fuenlabrada

Área técnica de acreditación: SE Área de ensayos de laboratorio de mecánica del suelo

Acreditado por la **Comunidad de Madrid**, fecha de concesión 23/04/01 publicado en BOCM

Nº del Registro General de laboratorio acreditado: 03119SE01

Publicado en B.O.E. día 02/08/96

El presente informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio, y sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos en la primera página.

## **6.1 Temperatura de curado**

### **6.1.1 Miniproctor**



REFERENCIA: 232101 TIPO MUESTRA: MEZCLA DE LOS CODIGOS: 221716-17-18-19-20-21-22-23  
SONDEO: DESCRIPCIÓN: EFECTO TEMPERATURA DE CURADC  
PROFUNDIDAD: FECHA: 21/10/2003  
OBRA: BOBADILLLA CLIENTE:  
HUMEDAD INICIAL= TARA: 112,98 T+S+A:163,25 T+S:161,04

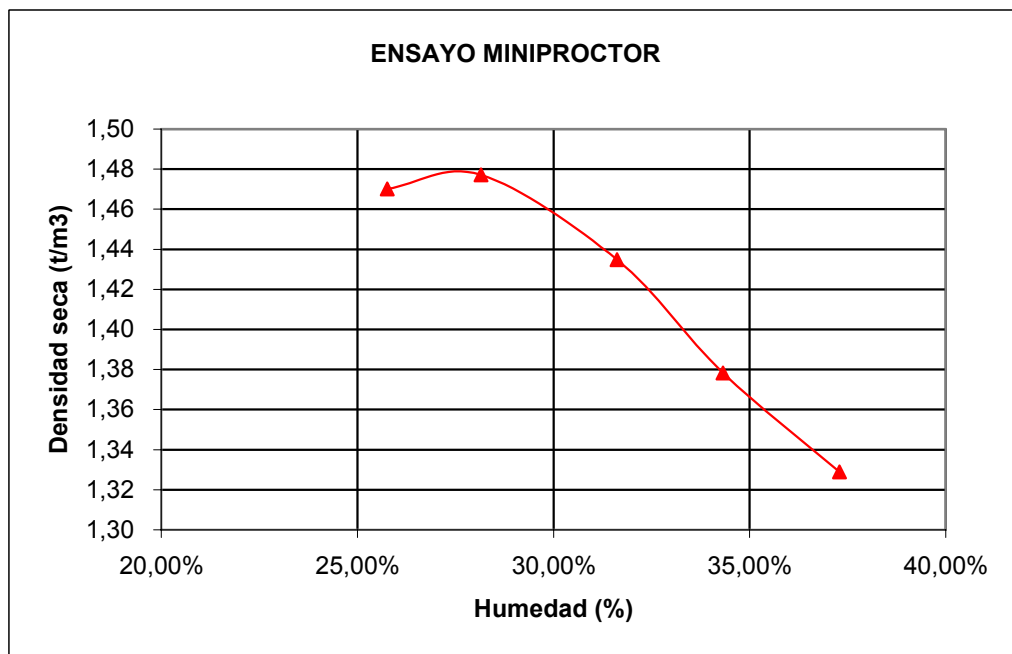
MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD
200gr/45cm <sup>a</sup>	1570,9	1729,9	117,83	276,47	244,07	126,24	158,76	25,76%	159	126,43	1,47
200gr/50cm <sup>a</sup>	1570,9	1733,7	112,88	275,16	239,51	126,63	162,28	28,15%	162,8	127,04	1,48
200gr/55cm <sup>a</sup>	1570,9	1733,3	116,92	278,62	239,8	122,88	161,73	31,62%	162,4	123,39	1,43
200gr/60cm <sup>a</sup>	1570,9	1730,1	118,23	277,07	236,51	118,28	158,87	34,32%	159,2	118,53	1,38
200gr/65cm <sup>a</sup>	1570,9	1727,8	116,83	273,18	230,71	113,88	156,35	37,29%	156,9	114,28	1,33
MUESTRA ANTES											

HUM. MUESTRA 0,00%  
HUM. PROCTOR 28,15%  
DIFERENCIA 28,15%  
PESO MUESTRA  
AGUA AÑADIR 0,00

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	86
MINIPROC.GRA..	196

## ENSAYO DE COMPACTACION

OBRA: BOBADILLLA  
P.K: 0  
MATERIAL: EFECTO TEMPERATURA DE CURADO



HUMEDAD OPTIMA PROCTOR  
HUMED PROCTOR 28,15% D. MAX 1,48 t/m3



### **6.1.2 Preparación de probetas**



EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A.

## ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR

REFERENCIA: 232101 TIPO MUESTRA: EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
SONDEO: BANDEJA - A DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 31/10/2003 MANDADO EL FAX EL DIA= 28/10/03  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:

3000 gr. TERRENO - 60 gr. CAL - 780 cm<sup>3</sup> AGUA = 16 PROBETAS

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD	
BANDJ-A-1	1570,9	1734	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,1	129,97	1,51	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-A-2	1570,9	1734,7	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,8	130,53	1,52	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-A-3	1570,9	1735,5	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	164,6	131,17	1,53	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-A-4	1570,9	1734,1	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,2	130,05	1,51	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-A-5	1570,9	1734,1	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,2	130,05	1,51	NEVERA
BANDJ-A-6	1570,9	1733,8	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	162,9	129,81	1,51	NEVERA
BANDJ-A-7	1570,9	1734,7	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,8	130,53	1,52	NEVERA
BANDJ-A-8	1570,9	1734,2	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,3	130,13	1,51	NEVERA
BANDJ-A-9	1570,9	1734,9	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	164	130,69	1,52	C.HUMEDA
BAND-A-10	1570,9	1735,3	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	164,4	131,01	1,52	C.HUMEDA
BAND-A-11	1570,9	1734,5	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,6	130,37	1,52	C.HUMEDA
BAND-A-12	1570,9	1733,6	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	162,7	129,65	1,51	C.HUMEDA
BAND-A-13	1570,9	1733,2	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	162,3	129,33	1,50	ZONA CALIDA
BAND-A-14	1570,9	1734	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,1	129,97	1,51	ZONA CALIDA
BAND-A-15	1570,9	1735,8	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	164,9	131,40	1,53	ZONA CALIDA
BAND-A-16	1570,9	1734,5	0	3840	3060	3060	3840	25,49%	163,6	130,37	1,52	ZONA CALIDA
MUESTRA ANTES												

VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	



EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A.

## ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR

REFERENCIA: 232101 TIPO MUESTRA: EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
SONDEO: BANDEJA - B DESCRIPCIÓN:  
PROFUNDIDAD: FECHA: 31/10/2003 MANDADO EL FAX EL DIA= 28/10/03  
OBRA: BOBADILLA CLIENTE:  
3000 gr TERRENO - 120 gr.CAL - 810 cm<sup>3</sup> AGUA = 16 PROBETAS

MUESTRA	MOLDE	M+S+A	TARA	T+S+A	T+S	S	S+A	W(%)	S+A	SUELO	DENSIDAD	
BANDJ-B-1	1570,9	1733,7	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	162,8	129,25	1,50	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-B-2	1570,9	1734,1	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	163,2	129,56	1,51	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-B-3	1570,9	1737	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	166,1	131,87	1,53	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-B-4	1570,9	1733,6	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	162,7	129,17	1,50	ESTUFA 50 <sup>a</sup>
BANDJ-B-5	1570,9	1733,4	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	162,5	129,01	1,50	NEVERA
BANDJ-B-6	1570,9	1733,1	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	162,2	128,77	1,50	NEVERA
BANDJ-B-7	1570,9	1732,4	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	161,5	128,21	1,49	NEVERA
BANDJ-B-8	1570,9	1731,8	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	160,9	127,74	1,49	NEVERA
BANDJ-B-9	1570,9	1732,8	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	161,9	128,53	1,49	Z.CALIDA
BAND-B-10	1570,9	1733,9	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	163	129,40	1,50	Z.CALIDA
BAND-B-11	1570,9	1733,9	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	163	129,40	1,50	Z.CALIDA
BAND-B-12	1570,9	1732,4	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	161,5	128,21	1,49	Z.CALIDA
BAND-B-13	1570,9	1732,6	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	161,7	128,37	1,49	C.HUMEDA
BAND-B-14	1570,9	1733,3	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	162,4	128,93	1,50	C.HUMEDA
BAND-B-15	1570,9	1733,4	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	162,5	129,01	1,50	C.HUMEDA
BAND-B-16	1570,9	1732,2	0	3930	3120	3120	3930	25,96%	161,3	128,05	1,49	C.HUMEDA
MUESTRA ANTES												

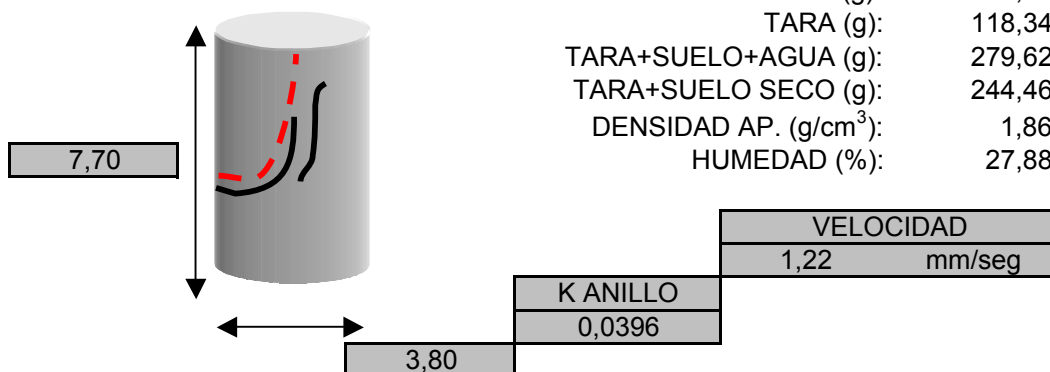
VOLUMEN MOLDE:	
86	
MINIPROC.PEQ.	
MINIPROC.GRA..	

## **6.2 Compresión simple a los 3 días**

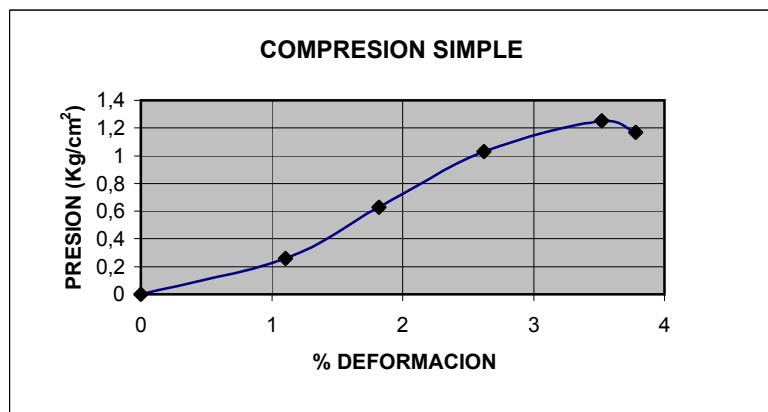
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	162,55
TARA (g):	118,34
TARA+SUELO+AGUA (g):	279,62
TARA+SUELO SECO (g):	244,46
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	27,88



$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,25
% DEF	3.52

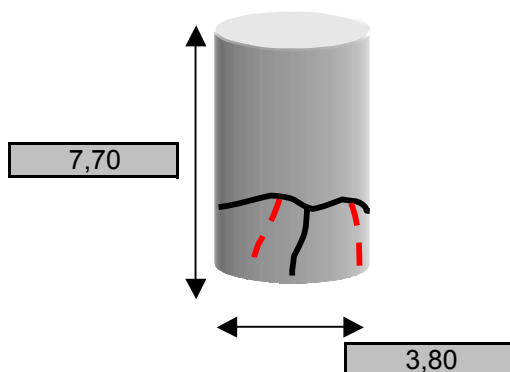


**OBSERVACIONES:** ESTUFA

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

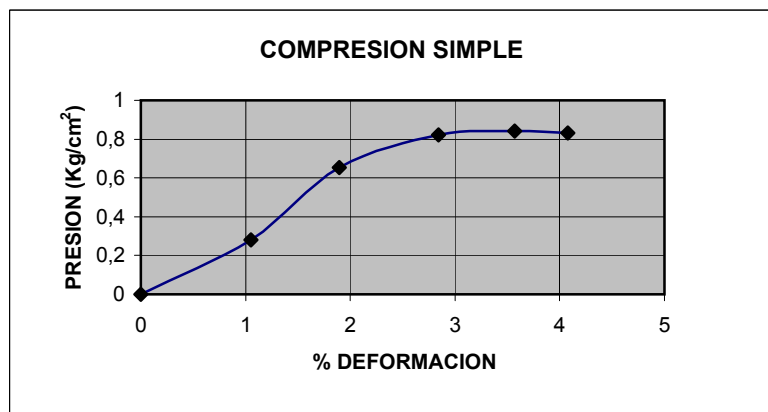
PESO DE TESTIGO (g):	162,8
TARA (g):	114,24
TARA+SUELO+AGUA (g):	277
TARA+SUELO SECO (g):	241,04
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	28,36



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg

K ANILLO
0,0396

<b>Q<sub>u</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,84
<b>% DEF</b>	3.57

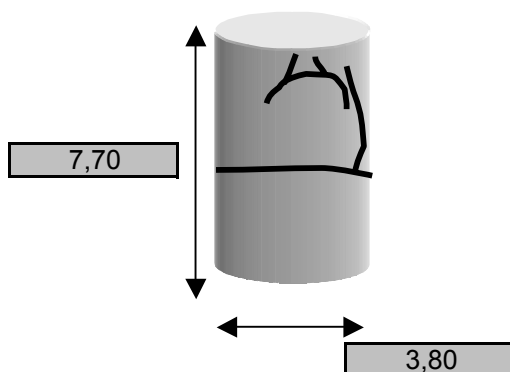


**OBSERVACIONES:** NEVERA

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-9  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

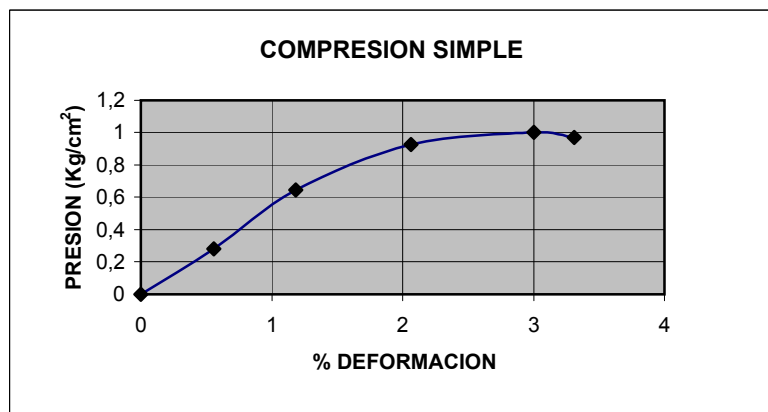
PESO DE TESTIGO (g):	163,52
TARA (g):	118,55
TARA+SUELO+AGUA (g):	281,99
TARA+SUELO SECO (g):	246,31
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,87
HUMEDAD (%):	27,93



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,00
% DEF	3

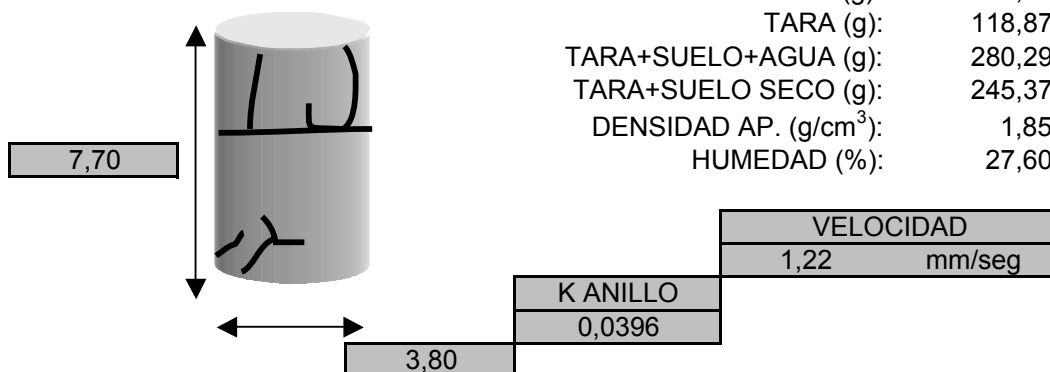


**OBSERVACIONES:** CÁMARA HÚMEDA

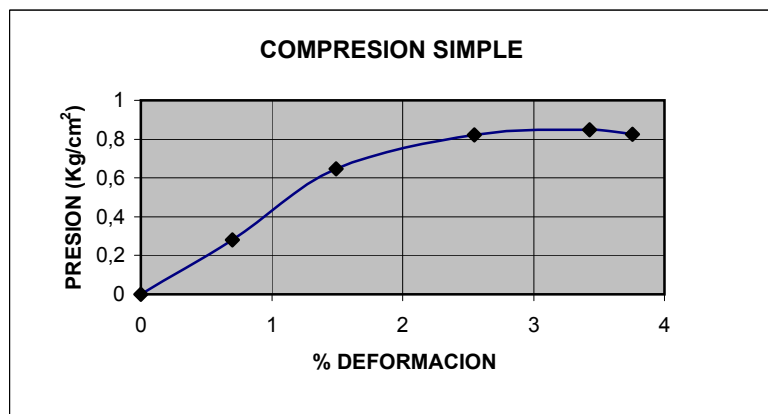
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-13  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	161,66
TARA (g):	118,87
TARA+SUELO+AGUA (g):	280,29
TARA+SUELO SECO (g):	245,37
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	27,60



$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,85
% DEF	3.43



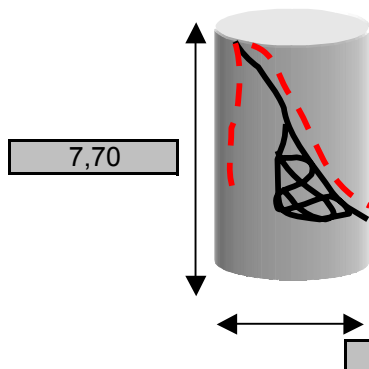
OBSERVACIONES: ZONA CÁLIDA



**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-1  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

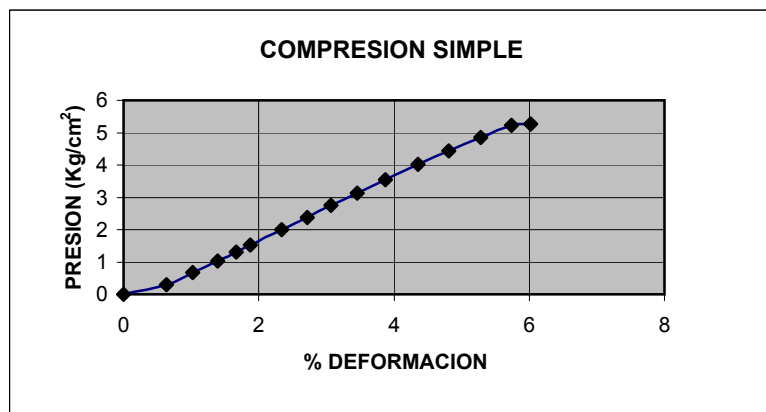
PESO DE TESTIGO (g): 161,36  
 TARA (g): 118,67  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 277,03  
 TARA+SUELO SECO (g): 243,91  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,85  
 HUMEDAD (%): 26,45



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg
K ANILLO	
0,0396	

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0	0	0	
0,22,44	0	168	49	0,29	0,64	
0,36,53	1	184	79	0,67	1,03	
0,49,91	2	192	107	1,03	1,39	
1,01,52	3	150	128	1,31	1,66	
1,10,33	4	70	144	1,52	1,87	
1,27,58	5	143	180	2,00	2,34	
1,41,20	6	160	209	2,37	2,71	
1,54,33	7	173	236	2,75	3,06	
2,08,12	8	194	266	3,13	3,45	
2,23,56	10	30	298	3,54	3,87	
2,40,41	11	105	335	4,02	4,35	
2,58,28	12	140	370	4,43	4,81	
3,13,11	13	178	407	4,85	5,29	
3,27,82	14	190	442	5,22	5,74	
3,31,67	15	15	464	5,26	6,03	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	5,26
% DEF	12,21

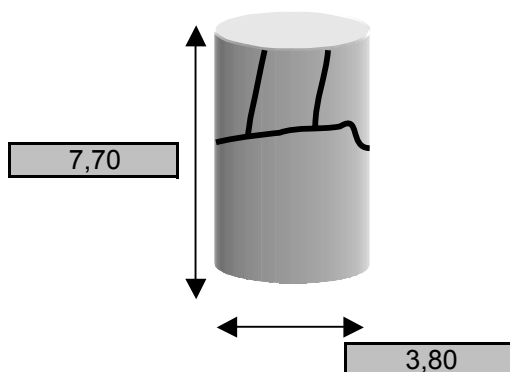


**OBSERVACIONES:** ESTUFA

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-5  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

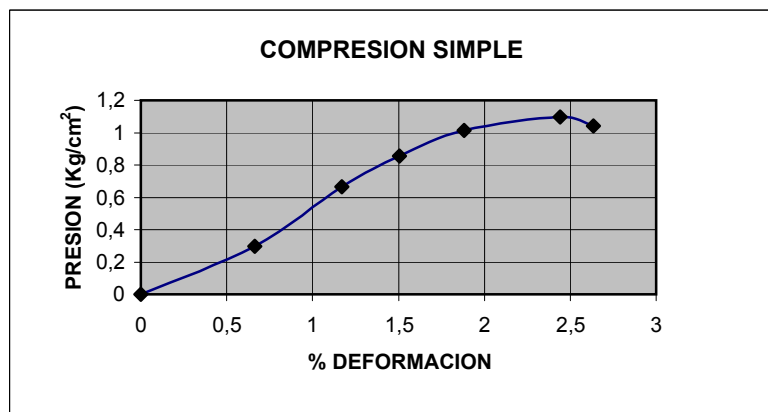
PESO DE TESTIGO (g):	162,02
TARA (g):	116,38
TARA+SUELO+AGUA (g):	278,43
TARA+SUELO SECO (g):	243,29
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	27,69



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,10
% DEF	4.95

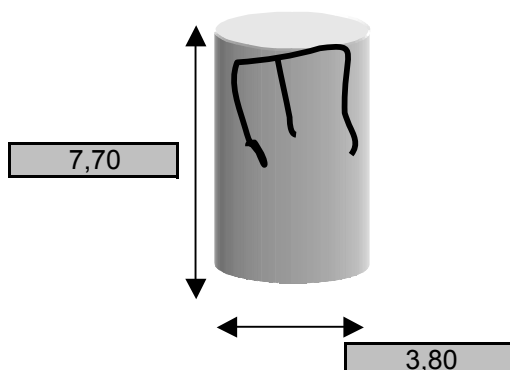


**OBSERVACIONES:** NEVERA

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-9  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

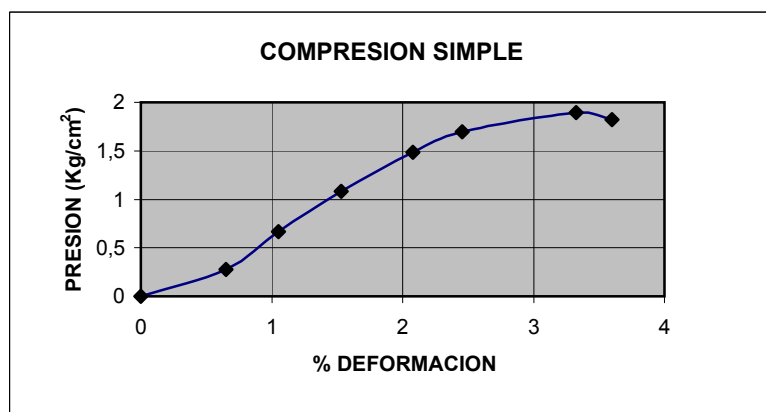
PESO DE TESTIGO (g):	161,2
TARA (g):	116,64
TARA+SUELO+AGUA (g):	277,61
TARA+SUELO SECO (g):	242,75
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	27,64



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,89
% DEF	3.6

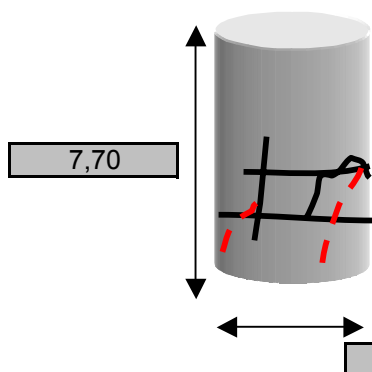


**OBSERVACIONES:** ZONA CÁLIDA

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-13  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 03/11/2003  
**CLIENTE:**

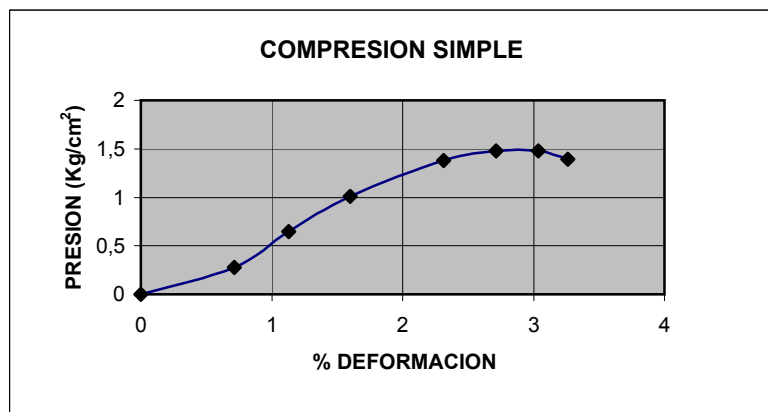
PESO DE TESTIGO (g):	161,59
TARA (g):	116,95
TARA+SUELO+AGUA (g):	278,41
TARA+SUELO SECO (g):	243,75
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	27,33



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,48
% DEF	3.04



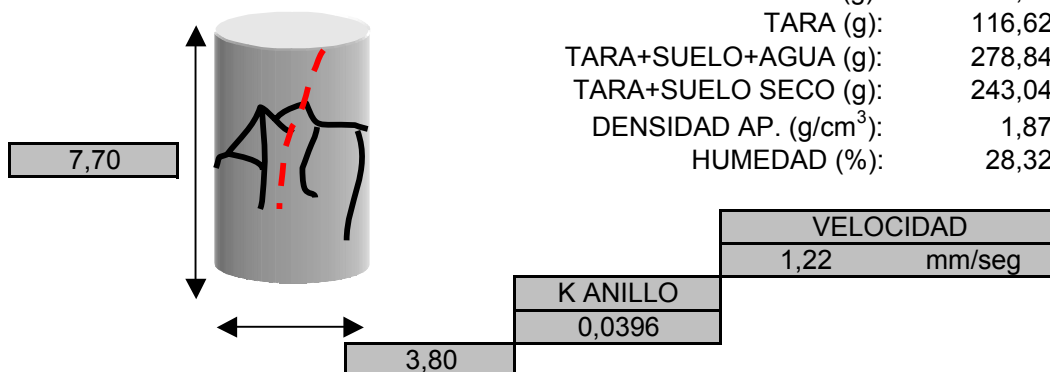
**OBSERVACIONES:** CÁMARA HÚMEDA

### **6.3 Compresión simple a los 7 días**

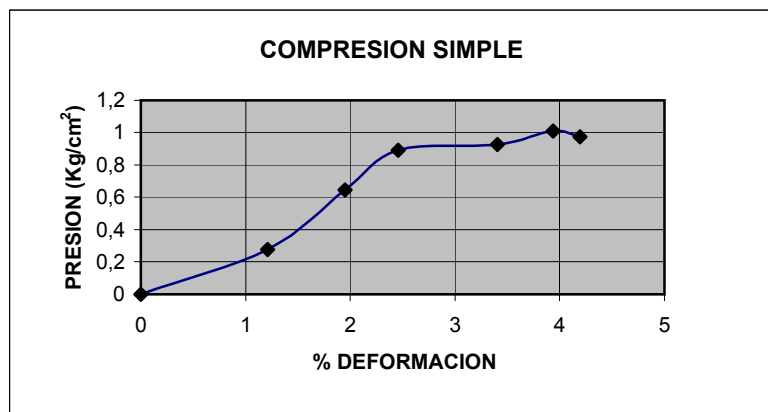
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-2  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** ESTUFA  
**FECHA:** 07/11/2003  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	163,03
TARA (g):	116,62
TARA+SUELO+AGUA (g):	278,84
TARA+SUELO SECO (g):	243,04
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,87
HUMEDAD (%):	28,32



$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,01
% DEF	3.94

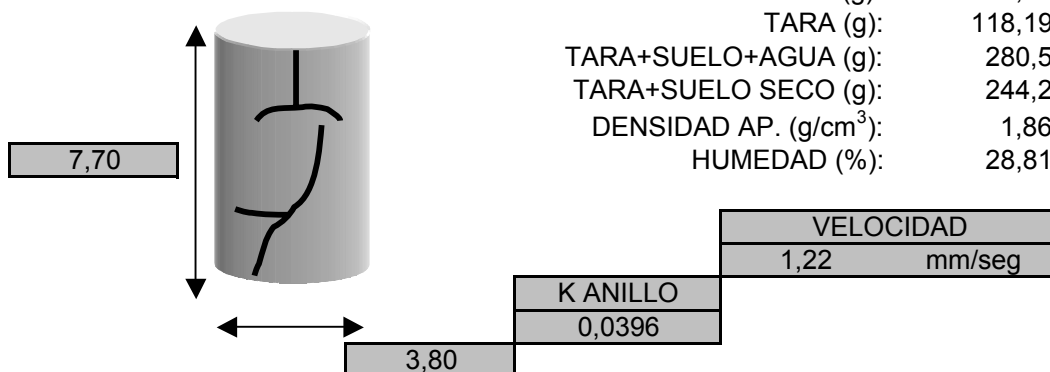


**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN

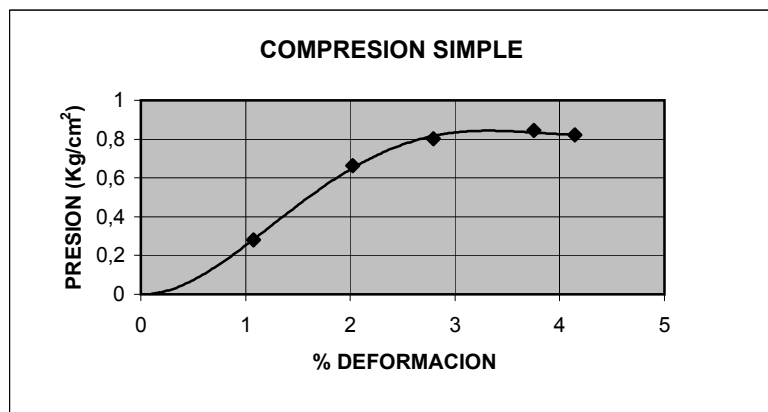
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-6  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

<b>TIPO MUESTRA:</b>	EFEECTO TEMPERATURA DE CURADO
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	NEVERA
<b>FECHA:</b>	07/11/2003
<b>CLIENTE:</b>	

PESO DE TESTIGO (g):	162,32
TARA (g):	118,19
TARA+SUELO+AGUA (g):	280,5
TARA+SUELO SECO (g):	244,2
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	28,81



<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,84
<b>% DEF</b>	3.75

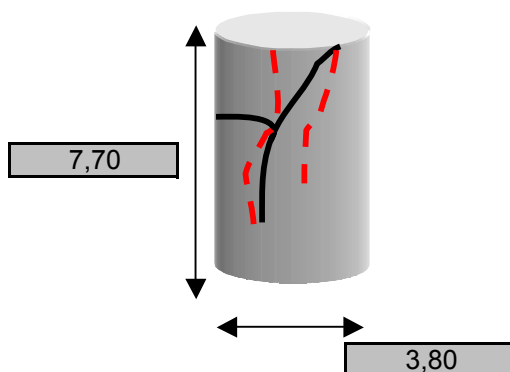


**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-10  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** CÁMARA HÚMEDA  
**FECHA:** 07/11/2003  
**CLIENTE:**

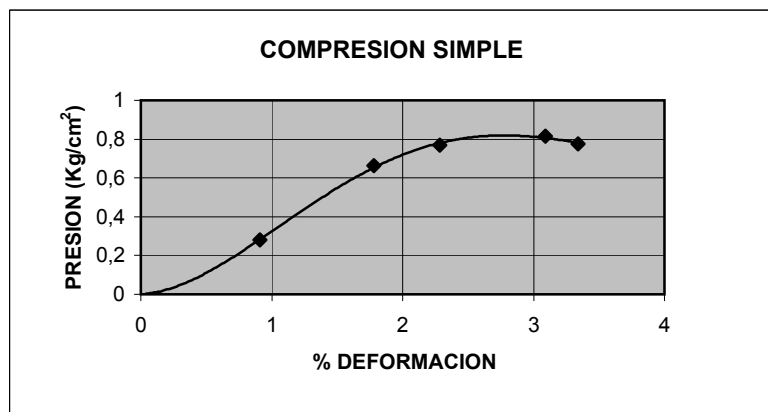
PESO DE TESTIGO (g):	165,44
TARA (g):	116,66
TARA+SUELO+AGUA (g):	281,99
TARA+SUELO SECO (g):	244,65
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	29,17



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,82
% DEF	3.09



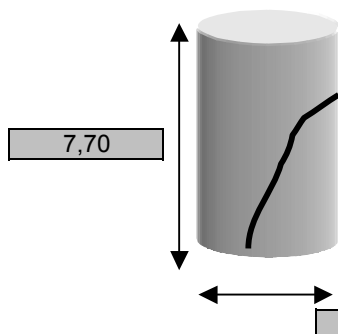
**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN



**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A-14  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** ZONA CÁLIDA  
**FECHA:** 07/11/2003  
**CLIENTE:**

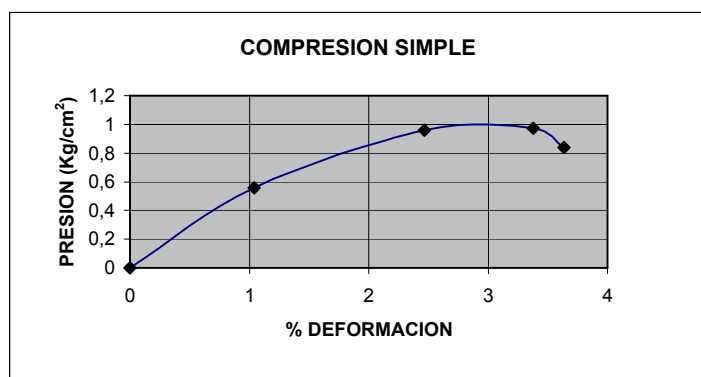
PESO DE TESTIGO (g):	162,63
TARA (g):	116,9
TARA+SUELO+AGUA (g):	279,28
TARA+SUELO SECO (g):	249,45
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	22,50



VELOCIDAD	
1,22	mm/seg

K ANILLO
0,0396

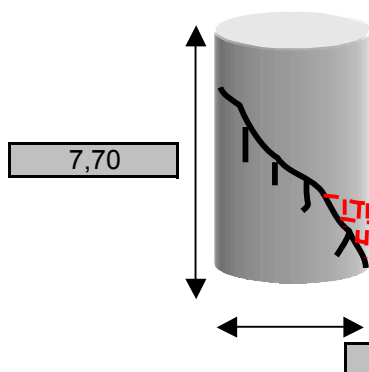
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,97
% DEF	3,64



**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-2  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**FECHA:** 07/11/2003  
**CLIENTE:** ESTUFA 50°



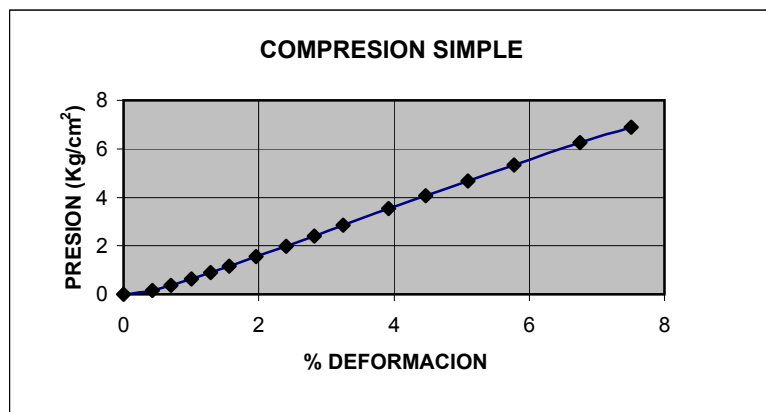
PESO DE TESTIGO (g): 158,87  
 TARA (g): 118,23  
 TARA+SUELO+AGUA (g): 269,36  
 TARA+SUELO SECO (g): 239,46  
 DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,82  
 HUMEDAD (%): 24,66

**VELOCIDAD**  
 1,22 mm/seg

**K ANILLO**  
 0,0396

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0	0	0	
0,16,21	0	95	33	0,17	0,43	
0,25,81	1	10	54	0,37	0,70	
0,36,12	1	170	77	0,65	1,00	
,046,37	2	120	99	0,91	1,29	
0,57,65	3	65	120	1,16	1,56	
1,12,46	4	90	151	1,55	1,96	
1,28,68	5	140	185	1,99	2,40	
1,46,36	6	180	217	2,41	2,82	
2,02,46	8	30	250	2,85	3,25	
2,27,65	10	20	302	3,53	3,92	
2,48,02	11	131	344	4,07	4,47	
3,09,99	13	75	392	4,67	5,09	
3,35,37	15	60	445	5,34	5,78	
4,10,21	17	180	520	6,25	6,75	
4,38,59	19	140	578	6,88	7,51	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	6,88
% DEF	7,51

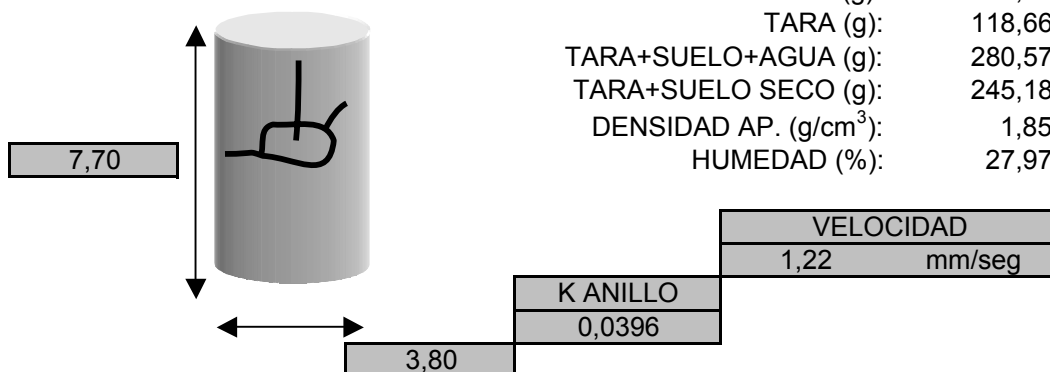


**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN

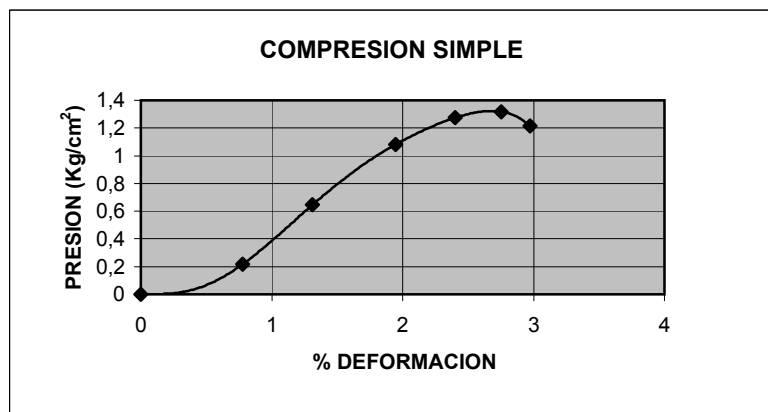
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-6  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** NEVERA  
**FECHA:** 07/11/2003

PESO DE TESTIGO (g):	161,92
TARA (g):	118,66
TARA+SUELO+AGUA (g):	280,57
TARA+SUELO SECO (g):	245,18
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	27,97



<b>Q<sub>II</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1,32
<b>% DEF</b>	2.75

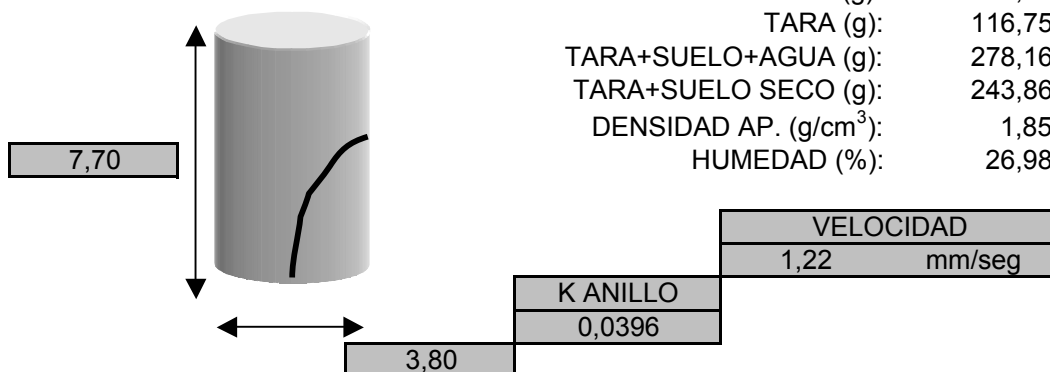


**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN

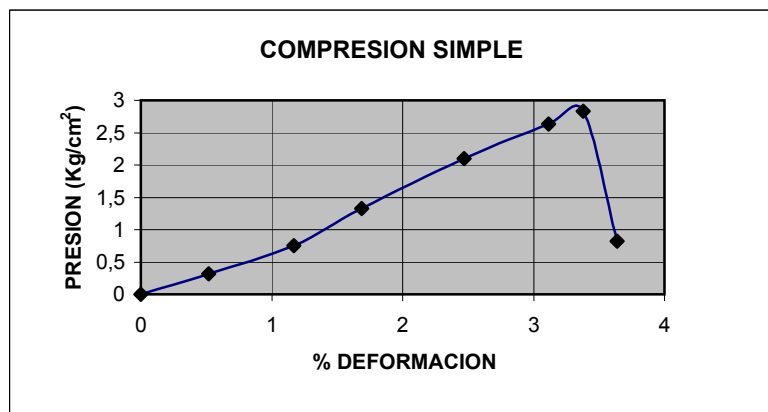
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-10  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** ZONA CÁLIDA  
**FECHA:** 07/11/2003  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	161,62
TARA (g):	116,75
TARA+SUELO+AGUA (g):	278,16
TARA+SUELO SECO (g):	243,86
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	26,98



$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	2,83
% DEF	3.88

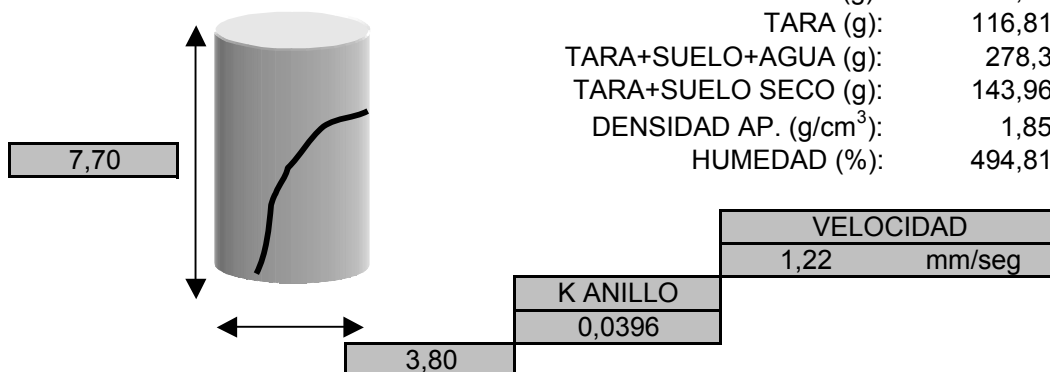


**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN

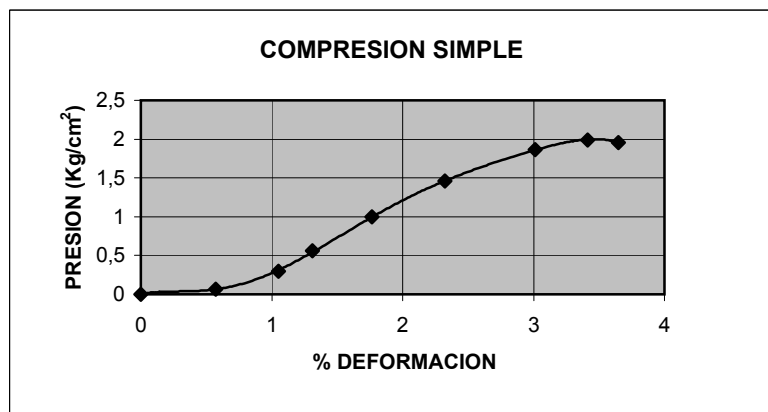
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B-14  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** CÁMARA HÚMEDA  
**FECHA:** 07/11/2003  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	161,98
TARA (g):	116,81
TARA+SUELO+AGUA (g):	278,3
TARA+SUELO SECO (g):	143,96
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	494,81



$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,99
% DEF	3.42



**OBSERVACIONES:** ROTO A LOS 7 DÍAS DE SU FABRICACIÓN

## **6.4 Compresión simple a los 30 días**

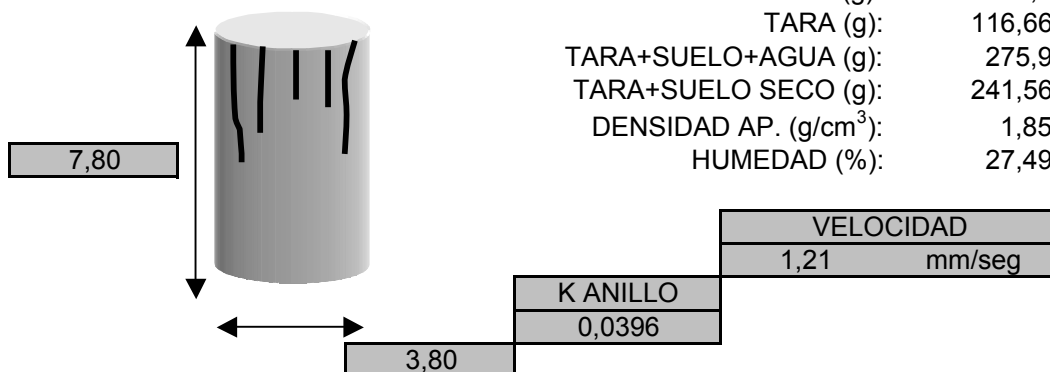
**REFERENCIA:**  
**CALICATA:**  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

BANDEJA-A  
BANDEJA -A-3

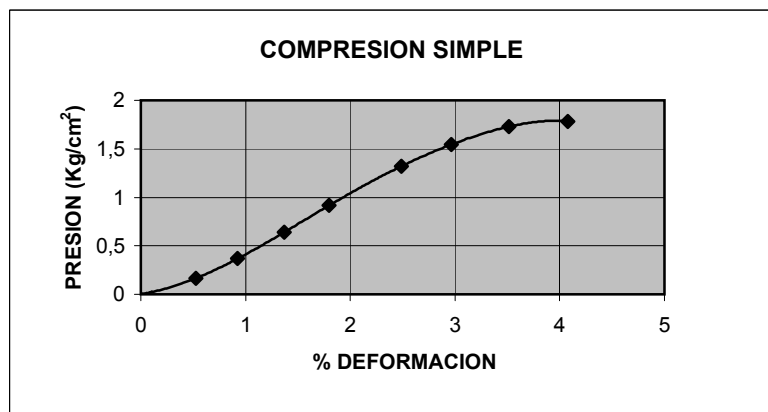
**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:**  
**CLIENTE:**

TEMPERATURA DE CURADO  
ESTUFA 50ª  
01/12/2003

PESO DE TESTIGO (g):	163,3
TARA (g):	116,66
TARA+SUELO+AGUA (g):	275,9
TARA+SUELO SECO (g):	241,56
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	27,49



$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,78
% DEF	4,08



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DÍAS

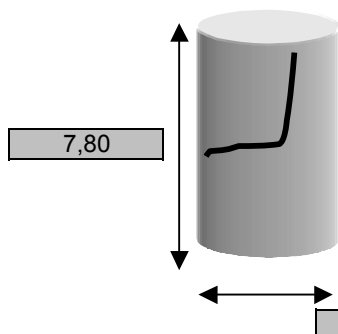
**REFERENCIA:**  
**CALICATA:**  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

BANDEJA -A  
BANDEJA-A-7

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:** 01/12/2003  
**CLIENTE:**

## EFECTO TEMPERATURA DE CURADO NEVERA

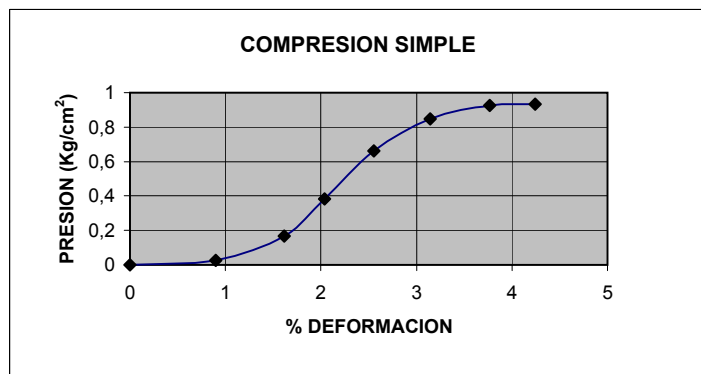
PESO DE TESTIGO (g):	163,35
TARA (g):	116,91
TARA+SUELO+AGUA (g):	280,21
TARA+SUELO SECO (g):	243,98
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	28,51



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,93
% DEF	4,24



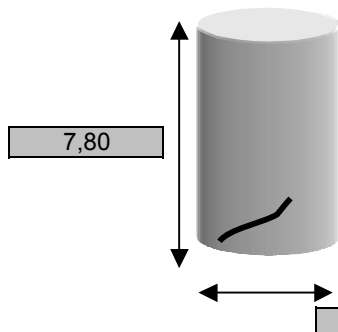
**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DÍAS



**REFERENCIA:** BANDEJA -A  
**CALICATA:** BANDEJA-A-11  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

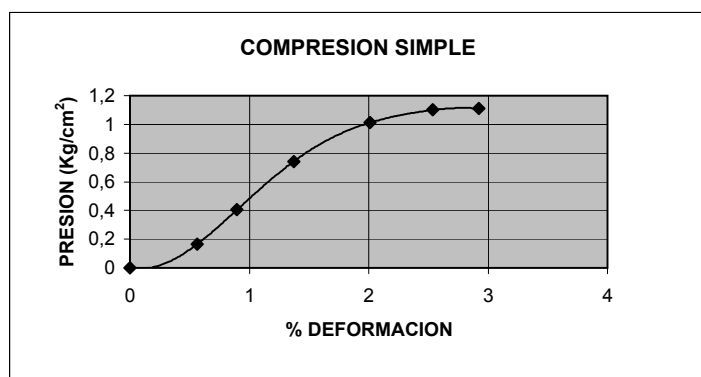
**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** CÁMARA HÚMEDA  
**FECHA:** 01/12/2003  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	163,29
TARA (g):	116,59
TARA+SUELO+AGUA (g):	279,74
TARA+SUELO SECO (g):	244,06
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,85
HUMEDAD (%):	27,99



	VELOCIDAD
	1,21 mm/seg
K ANILLO	
0,0396	

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,11
% DEF	2.92

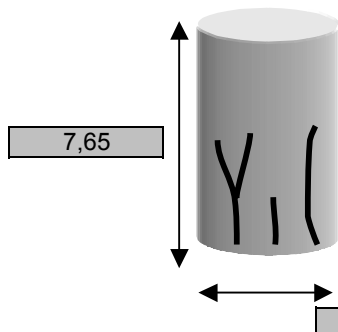


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DÍAS

**REFERENCIA:** BANDEJA -A  
**CALICATA:** BANDEJA-A-15  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** ZONA CÁLIDA  
**FECHA:** 01/12/2003  
**CLIENTE:**

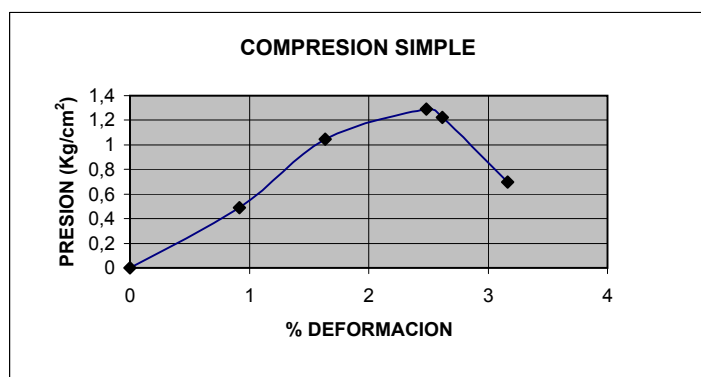
PESO DE TESTIGO (g):	164,19
TARA (g):	164
TARA+SUELO+AGUA (g):	327,78
TARA+SUELO SECO (g):	291,9
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	28,05



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

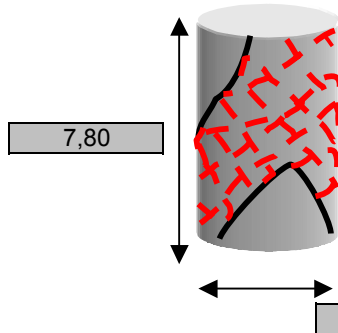
$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,29
% DEF	2.48



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DÍAS

REFERENCIA: BANDEJA -B  
CALICATA: BANDEJA-B-3  
PROFUNDIDAD:  
OBRA: BOBADILLA  
NOTA P.B.:

TIPO MUESTRA: EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
DESCRIPCIÓN: ESTUFA 50ª  
FECHA: 01/12/2003  
CLIENTE:

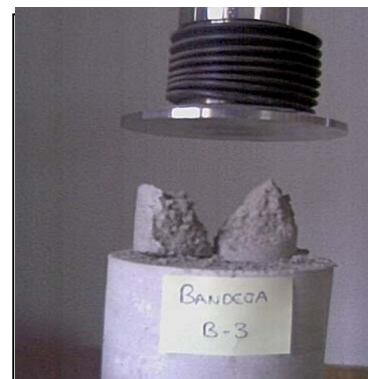
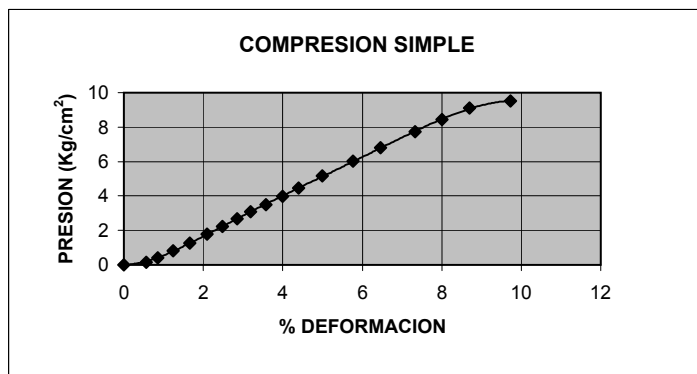


PESO DE TESTIGO (g): 161,02  
TARA (g):  
TARA+SUELO+AGUA (g): 333,06  
TARA+SUELO SECO (g): 292,89  
DENSIDAD AP. (g/cm³): 1,82  
HUMEDAD (%): #¡VALOR!

VELOCIDAD
1,21 mm/seg
K ANILLO
0,0396

TIEMPO	ANILLO PEQUEÑO	ANILLO GRANDE	COMPARADOR	PRESIÓN Kg/cm²	DEF (%)	R
00:00,0	0	0	0	0	0	
00:09,03	0	95	44	0,17	0,56	
00:18,18	1	30	66	0,40	0,85	
00:31,90	2	65	97	0,81	1,24	
00:47,59	3	130	129	1,27	1,65	
01:04,22	5	20	163	1,78	2,09	
01:18,38	6	85	194	2,24	2,49	
01:32,78	7	140	223	2,69	2,86	
01:46,10	8	160	249	3,07	3,19	
02:00,39	10	10	279	3,51	3,58	
02:16,98	11	85	311	3,99	3,99	
02:32,95	12	160	343	4,47	4,40	
02:55,61	14	150	390	5,15	5,00	
03:25,89	17	45	450	6,01	5,77	
03:53,11	19	95	504	6,80	6,46	
04:27,20	22	35	572	7,74	7,33	
04:51,62	24	30	624	8,43	8,00	
05:17,34	26	10	678	9,10	8,69	
05:56,20	27	49	759	9,51	9,73	R

Q <sub>u</sub> (Kg/cm²)	9,51
% DEF	9,73



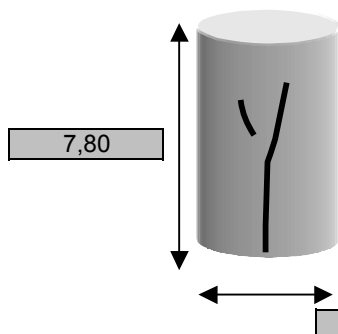
OBSERVACIONES: ROTURA A LOS 30 DÍAS

**REFERENCIA:**  
**CALICATA:**  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

BANDEJA B  
BANDEJA B-7

**TIPO MUESTRA:**  
**DESCRIPCIÓN:**  
**FECHA:**  
**CLIENTE:**

EFCTO TEMPERATURA DE CURADO  
NEVERA  
01/12/2003

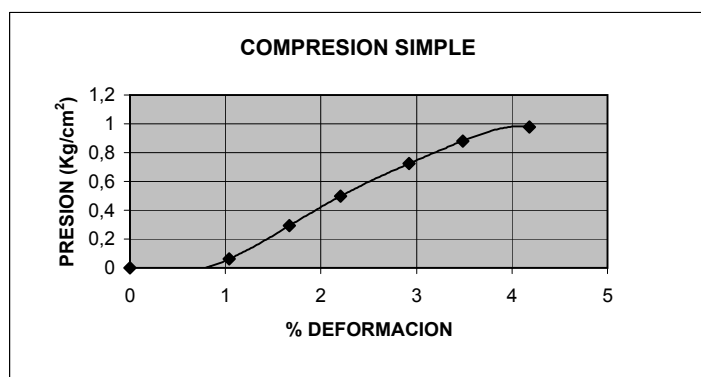


PESO DE TESTIGO (g):	161,59
TARA (g):	118,21
TARA+SUELO+AGUA (g):	279,52
TARA+SUELO SECO (g):	243,22
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,83
HUMEDAD (%):	29,04

VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,98
% DEF	4,18

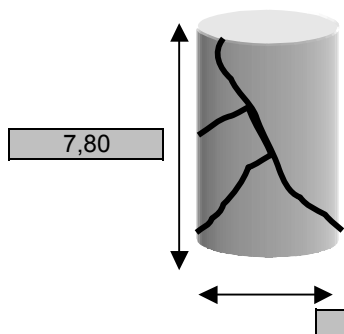


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DÍAS

**REFERENCIA:** BANDEJA -B  
**CALICATA:** BANDEJA -B-15  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**TIPO MUESTRA:** EFECTO TEMPERATURA DE CURADO  
**DESCRIPCIÓN:** CAMARA HÚMEDA  
**FECHA:** 01/12/2003  
**CLIENTE:**

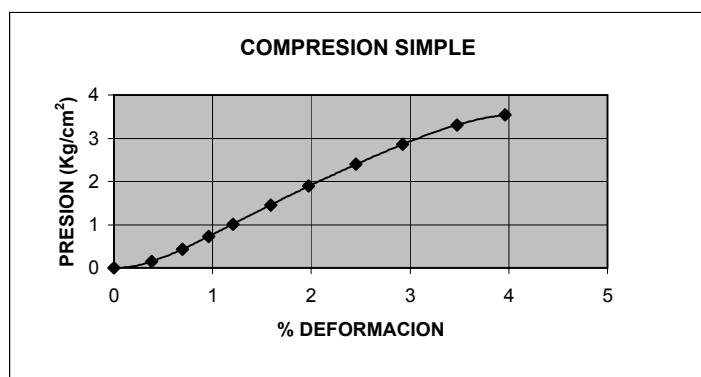
PESO DE TESTIGO (g):	161,07
TARA (g):	116,38
TARA+SUELO+AGUA (g):	265,82
TARA+SUELO SECO (g):	232,97
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,82
HUMEDAD (%):	28,18



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	3,54
% DEF	3,96

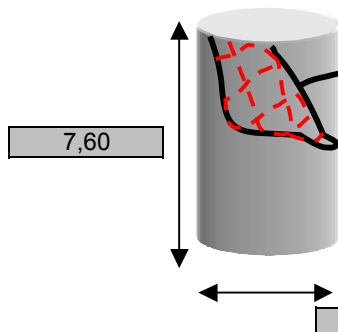


**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DÍAS

**REFERENCIA:** BANDEJA -B  
**CALICATA:** BANDEJA-B-11  
**PROFUNDIDAD:**  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

TIPO MUESTRA:	EFECTO TEMPERATURA DE CURADO
DESCRIPCIÓN:	ZONA CÁLIDA
FECHA:	01/12/2003
CLIENTE:	

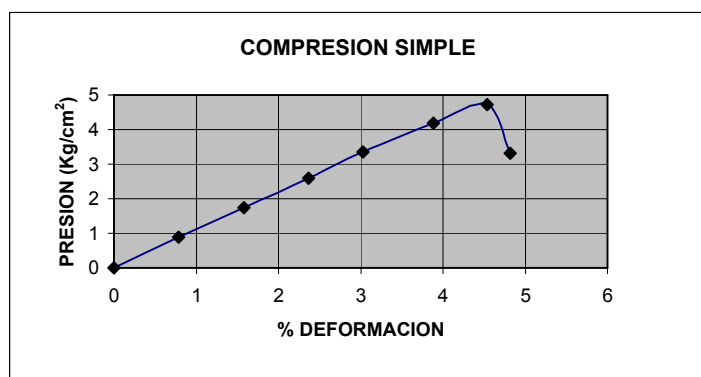
PESO DE TESTIGO (g):	162,52
TARA (g):	164,08
TARA+SUELO+AGUA (g):	325,72
TARA+SUELO SECO (g):	289,76
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	28,61



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,73
% DEF	4,54



**OBSERVACIONES:** ROTURA A LOS 30 DÍAS

## **6.5 Compresión simple resultados a los 90 días**

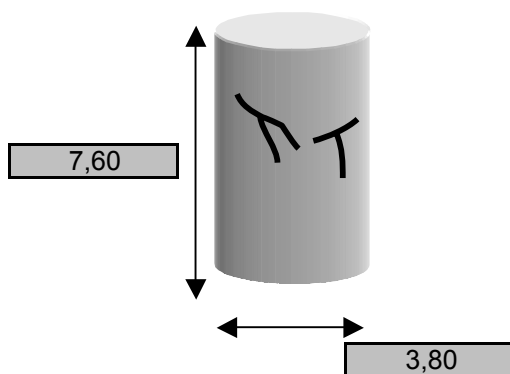
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL 31/10/03
	ROMPER A LOS 90 DIAS

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-A-4  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 29/01/2004  
**CLIENTE:**

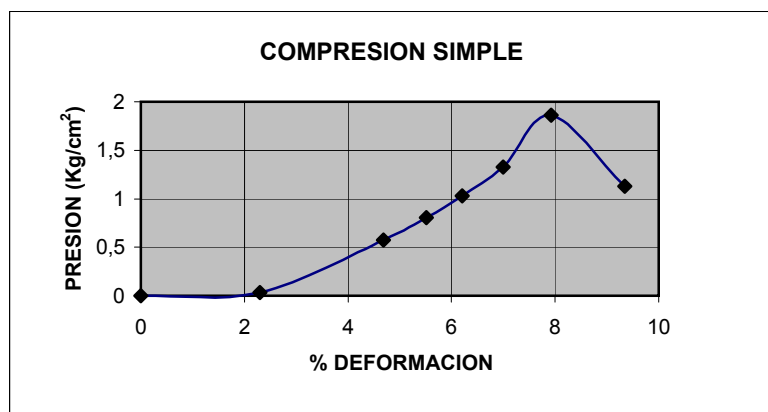
PESO DE TESTIGO (g):	149,52
TARA (g):	92,62
TARA+SUELO+AGUA (g):	240,74
TARA+SUELO SECO (g):	217,69
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,73
HUMEDAD (%):	18,43



VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,86
% DEF	7.92



**OBSERVACIONES:** ESTUFA 50ª



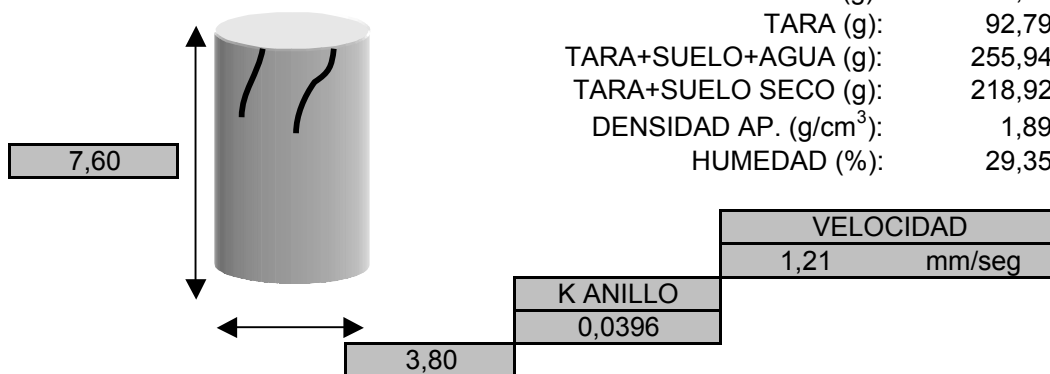
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL DIA=31/10/03
	ROMPER A LOS 90 DIAS

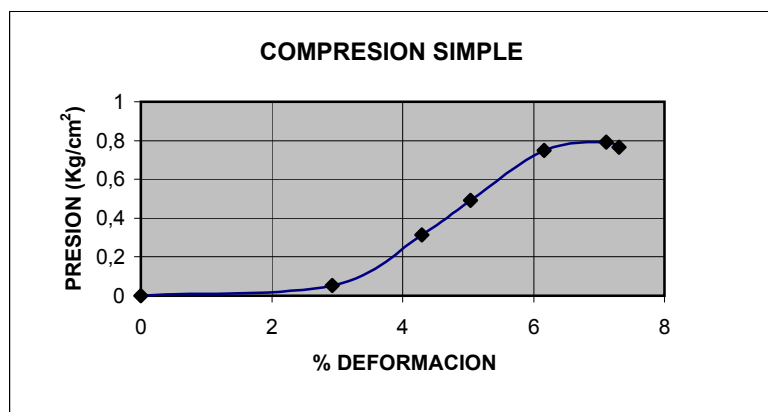
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-A-8  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 29/01/2004  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	163,17
TARA (g):	92,79
TARA+SUELO+AGUA (g):	255,94
TARA+SUELO SECO (g):	218,92
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	29,35

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,79
<b>% DEF</b>	7,11



**OBSERVACIONES:** TAPER NEVERA

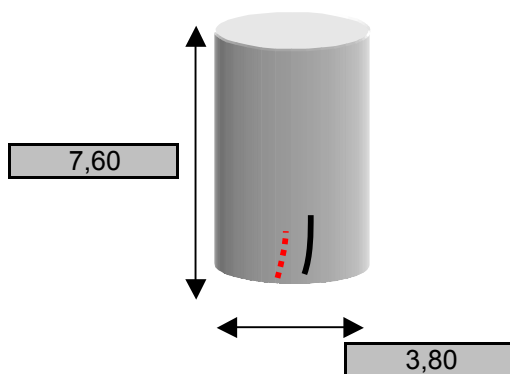
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL DIA=31/10/03
	ROMPER A LOS 90 DIAS

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-A-12  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 29/01/2004  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	161,84
TARA (g):	91,92
TARA+SUELO+AGUA (g):	253,64
TARA+SUELO SECO (g):	217,66
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,88
HUMEDAD (%):	28,61

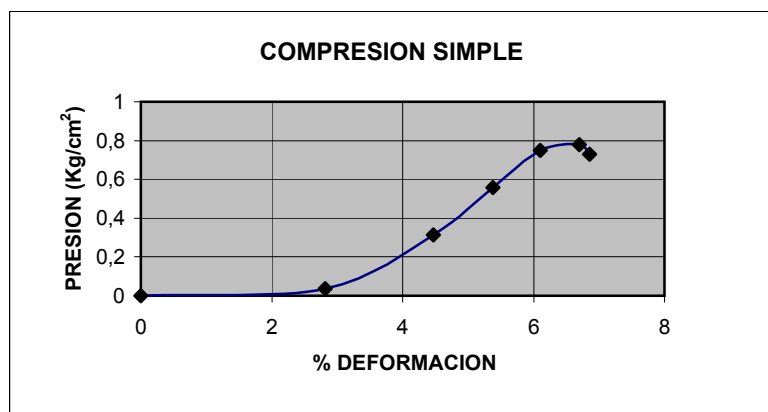


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,78
% DEF	6.7



**OBSERVACIONES:** TAPER CAMARA HUMEDA

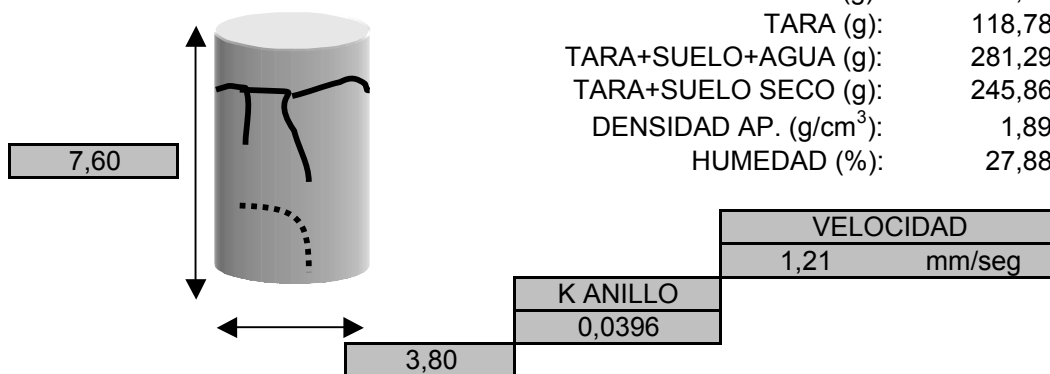
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-A

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL 31/10/03
	ROMPER A LOS 90 DIAS

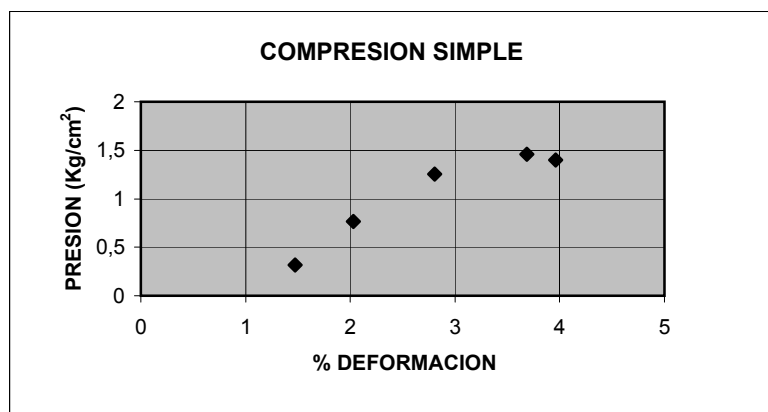
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-A-16  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:** 09/02/2004  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	162,71
TARA (g):	118,78
TARA+SUELO+AGUA (g):	281,29
TARA+SUELO SECO (g):	245,86
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89
HUMEDAD (%):	27,88

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,46
% DEF	3.68



**OBSERVACIONES:** TAPER ZONA CALIDA

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL DIA=31/10/03
	ROMPER A LOS 90 DIAS

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-B-4

OBRA: BOBADILLA

FECHA: 29/01/2004

**CLIENTE:**

**NOTA P.B.:**

NO SE HAN MARCADO GRIETAS EN LA ROTURA

PESO DE TESTIGO (g): 125,83

TARA (g): 93,78

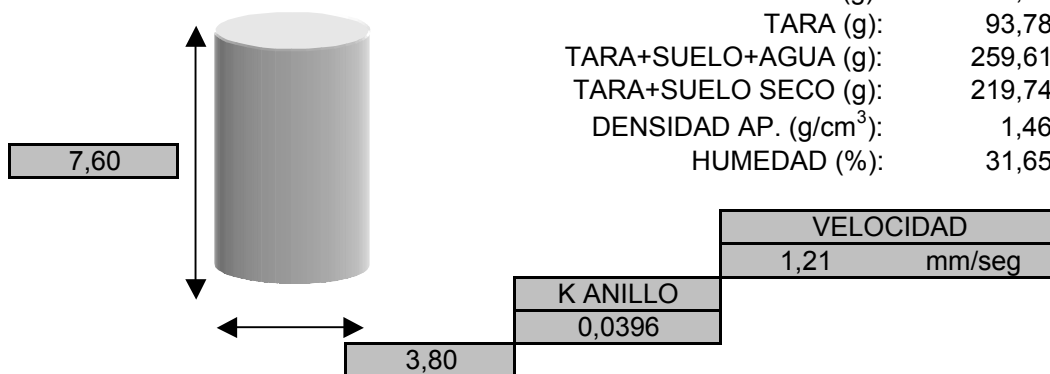
TARA+SUELO+AGUA (g): 259,61

TARA+SUELO SECO (g):	219,74
----------------------	--------

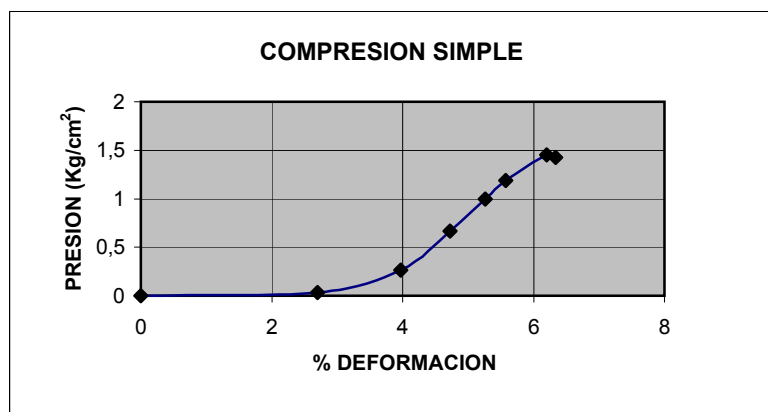
DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1.46

DENSIDAD AF. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,40
HUMEDAD (%):	31,65

FORMEDAD (%). 51,05

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,45
% DEF	6,2



**OBSERVACIONES:** TAPER ESTUFA 50<sup>a</sup>

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL DIA=31/10/03
	ROMPER A LOS 90 DIAS

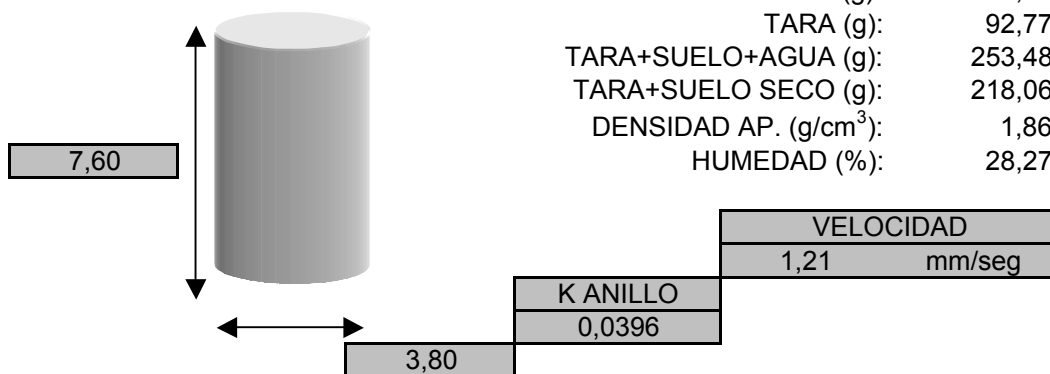
**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-B-8  
**OBRA:** BOBADILLA

**FECHA:** 29/01/2004  
**CLIENTE:**

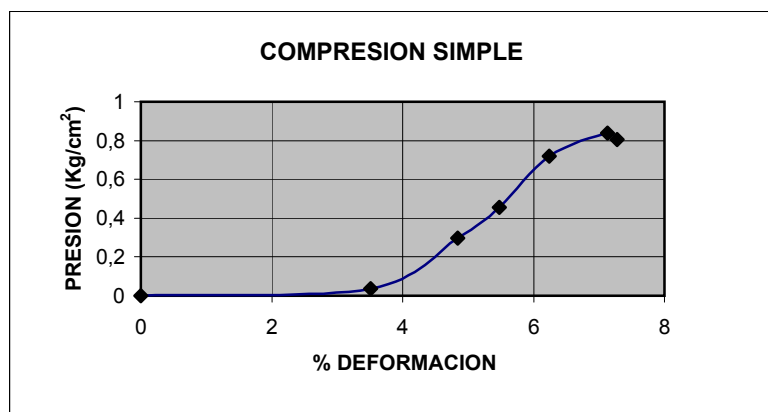
**NOTA P.B.:**

EN LA ROTURA NO SE HAN MARCADO GRIETAS

PESO DE TESTIGO (g):	160,69
TARA (g):	92,77
TARA+SUELO+AGUA (g):	253,48
TARA+SUELO SECO (g):	218,06
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	28,27

[illegible]

$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,84
% DEF	7,13



**OBSERVACIONES:** TAPER NEVERA

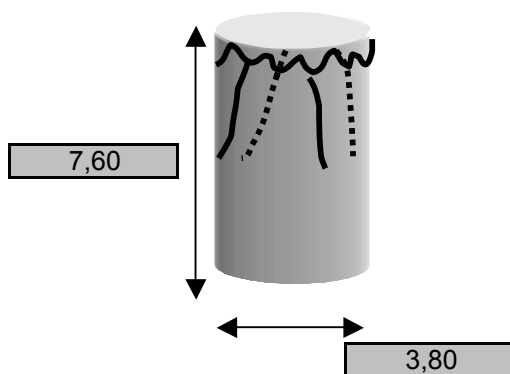
**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL DIA=31/10/03
	ROMPER A LOS 90 DIAS

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-B-12  
**OBRA:** BOBADILLA  
**NOTA P.B.:**

**FECHA:**  
**CLIENTE:**

PESO DE TESTIGO (g):	160,73
TARA (g):	116,69
TARA+SUELO+AGUA (g):	276,18
TARA+SUELO SECO (g):	241,4
DENSIDAD AP. (g/cm <sup>3</sup> ):	1,86
HUMEDAD (%):	27,89

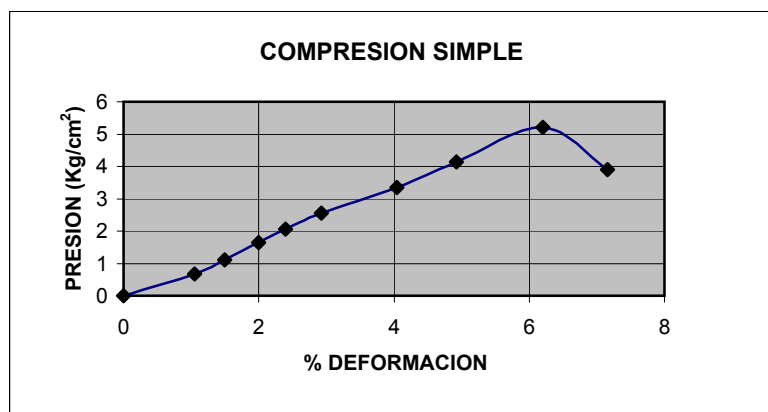


VELOCIDAD	
1,21	mm/seg

K ANILLO
0,0396

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	5,20
<b>% DEF</b>	7,16



**OBSERVACIONES:** TAPER ZONA CALIDA

**REFERENCIA:** 232101  
**CALICATA:** BANDEJA-B

<b>TIPO MUESTRA:</b>	FAX DEL DIA=30/10/03
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	E.TEMPERATURA DE CURADO
	HECHOS EL DIA=31/10/03
	ROTURA A LOS 90 DIAS

**PROFUNDIDAD:** BANDEJA-B-16  
**OBRA:** BOBADILLA

**FECHA:** 29/01/2004  
**CLIENTE:**

**NOTA P.B.:**

NO SE HAN MARCADO GRIETAS EN LA ROTURA

PESO DE TESTIGO (g): 161,7

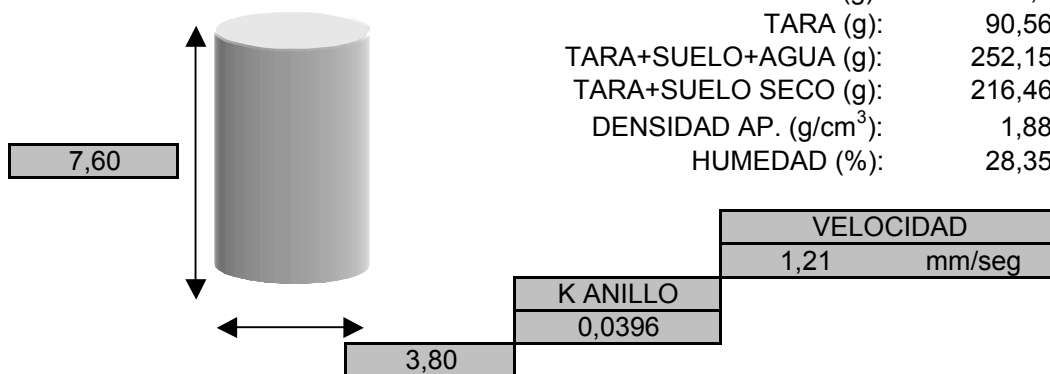
TARA (g): 90,56

TARA+SUELO+AGUA (g): 252,15

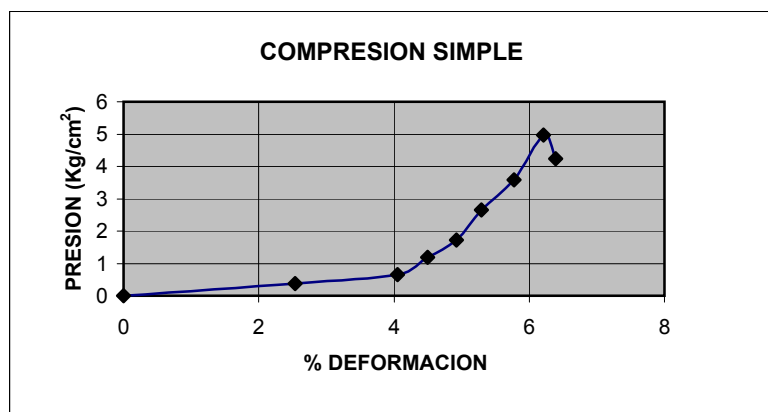
TARA+SUELO SECO (g):	216,46
----------------------	--------

DENSIDAD AP. (g/cm<sup>3</sup>): 1,88

HUMEDAD (%): 28,35

[illegible]

<b>Q<sub>U</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4,98
<b>% DEF</b>	6,21



**OBSERVACIONES:** TAPER CAMARA HUMEDA